GUIDE PRATIQUE ET TECHNIQUE

VALISETTE AVEC APPAREILS DE MESURES

PROGRAMME Energ@tic

VERSION DU 05/02/2009

RÉALISÉ PAR :

SPRL APURE
PLACE DU PLAT PAYS, 6
1348 LOUVAIN-LA-NEUVE
TÉL : 010/45.92.45
FAX : 010/45.13.45

Ce guide a pour objectif d'encadrer l'utilisation des différents appareils de mesures présents dans les valisettes qui accompagnent le programme européen Energ@tic.

Dans un premier temps et ce, pour chacun des appareils de mesures, sont présentées les notions théoriques qu'il est nécessaire de maîtriser et les impacts qu'elles peuvent avoir sur une utilisation rationnelle de l'énergie.

Dans un second temps, ce sont les appareils de mesures en eux-mêmes qui sont présentés. Les différents paramètres à définir avant les prises de mesures sont détaillés. Les précautions à prendre afin d'aboutir à une prise de mesures fiable sont expliquées.

Un grand nombre d'informations et d'illustrations présentées dans ce guide sont extraites du Cd-rom « Energie + » édité par la Région Wallonne et disponible gratuitement via leur site Internet (http://energie.wallonie.be).

TABLE DES MATIÈRES

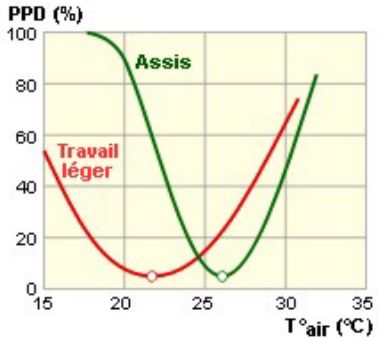
1. THERMOMÈTRE. 4
1.1. Notions de base 4
1.1.1. Le confort Thermique 4
1.1.2. Isolation thermique des murs 6
1.2. Paramètres mesurés 15
1.2.1. Température ambiante 15
1.2.2. Température de paroi 15
1.2.3. Emissivité d'un matériau 16
1.3. Mode d'utilisation du thermomètre 16
2. ENREGISTREUR DE TEMPÉRATURE DANS LE TEMPS 20
2.1. Notions de base 20
2.1.1. Intermittence de chauffage 20
2.1.2. Abaissement de la courbe de chauffe 23
2.1.3. Coupure et relance à heures fixes 25
2.1.4. Optimiseurs 25
2.1.5. Comparaison de l'économie en fonction du type de programmateur 26
2.2. Paramètres mesurés 28
2.3. Mode d'utilisation de l'enregistreur de température 28
3. APPAREIL DE MESURES ÉLECTRIQUES (WATTMÈTRE) 31
3.1. Notions de base 31
3.1.1. Analogie hydraulique 31
3.2. Paramètres mesurés 32
3.2.1. Courant électrique : A 32
3.2.2. Tension électrique : V 32
3.2.3. Puissance électrique : kW 32
3.2.4. Energie électrique : kWh 33
3.3. Mode d'utilisation d'un appareil de mesure électrique 33
4. LE LUXMÈTRE 36
4.1. Notions de bases 36
4.1.1. La lumière 36
4.1.2. Le confort visuel. 37
4.1.3. L'éclairage. 46
4.2. Paramètres mesurés. 55
4.3. Mode d'utilisation d'un luxmètre 57

1. THERMOMÈTRE.

1.1. Notions de base

1.1.1. Le confort Thermique

Dans les conditions habituelles, l'homme assure le maintien de sa température corporelle autour de 36,7°C. Cette température est en permanence supérieure à la température d'ambiance, aussi un équilibre doit-il être trouvé afin d'assurer le bien-être de l'individu.



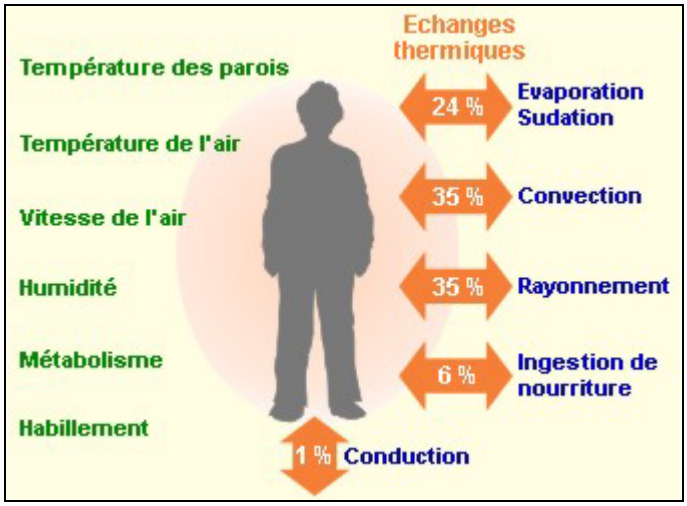
La figure ci-contre considère le sentiment de confort thermique exprimé par les sujets eux-mêmes. Il s'agit de pourcentages prévisibles d'insatisfaits (PPD), exprimés sur l'axe vertical, pour des personnes au repos en position assise (celle qui font la sieste au bureau, par exemple !), ou pour des personnes effectuant un travail léger (= travail de bureau).

Il est impossible de définir une température qui convienne à tous : il reste au mieux 5 % d'insatisfaits !

Il est intéressant de constater que la courbe des sujets au repos est centrée sur 26°C, et qu'elle est plus resserrée : ces personnes sont plus sensibles à de faibles variations de température.

La courbe représentant le travail léger glisse vers les basses températures : les personnes ayant plus de chaleur à perdre préfèrent des températures plus basses.

La diffusion de chaleur entre l'individu et l'ambiance s'effectue selon divers mécanismes :



- Plus de 50 % des pertes de chaleur du corps humain se font par convection avec l'air ambiant (convection et évaporation par la respiration ou à la surface de la peau).
- Les échanges par rayonnement à la surface de la peau représentent jusqu'à 35 % du bilan alors que les pertes par contact (conduction) sont négligeables (< 1 %).
- Le corps perd également 6 % de sa chaleur à réchauffer la nourriture ingérée.

Cette importance de nos échanges par rayonnement explique que nous sommes très sensibles à la température des parois qui nous environnent, ... et explique l'inconfort dans les anciennes églises, malgré l'allumage de l'aérotherme deux heures avant l'entrée des fidèles !

Le confort thermique dépend de 6 paramètres :

1. Le métabolisme, qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36,7°C. Un métabolisme de travail correspondant à une activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos.
2. L'habillement, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.
3. La température ambiante de l'air Ta.
4. La température moyenne des parois Tp.
5. L'humidité relative de l'air (HR), qui est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température ta et la quantité maximale d'eau contenue à la même température.

   L'humidité a relativement peu d'impact sur la sensation de confort d'un individu dans un bâtiment. Ainsi, un individu peut difficilement ressentir s'il fait 40 % ou 60 % d'humidité relative dans son bureau.

   L'inconfort n'apparaît que dans des situations extrêmes :

   - soit une humidité relative inférieure à 30 %,
   - soit une humidité relative supérieure à 70 %

6. La vitesse de l'air, qui influence les échanges de chaleur par convection. Dans le bâtiment, les vitesses de l'air ne dépassent généralement pas 0,2 m/s.

La **vitesse de l'air** (et plus précisément la vitesse relative de l'air par rapport à l'individu) est un paramètre à prendre en considération car elle influence les échanges de chaleur par convection et augmente l'évaporation à la surface de la peau.

A l'intérieur des bâtiments, on considère généralement que l'impact sur le confort des occupants est négligeable tant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0,2 m/s.

A titre de comparaison : se promener à la vitesse de 1 km/h produit sur le corps un déplacement de l'air de 0,3 m/s.

Le mouvement de l'air abaisse la température du corps, facteur recherché en été mais pouvant être gênant en hiver (courants d'air).

Évaluation simplifiée : température de l'air et température des parois définissent "la température opérative"

De façon simplifiée, on définit une température de confort ressentie (appelée aussi "température opérative" ou "température résultante sèche") :

$T°_{opérative} = (T°_{air} + T°_{parois}) / 2$

Cette relation simple s'applique pour autant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0,2 m/s.

Ainsi, le lundi matin, la température des parois est encore basse et le confort thermique risque de ne pas être atteint malgré la température de l'air de 20 ou 21°C...

1.1.2. Isolation thermique des murs

1.1.2.1. La conduction thermique

La conduction thermique est le mode de propagation de l'énergie thermique à travers les matières.

Les éléments qui constituent les matières reçoivent et transmettent l'énergie aux éléments voisins par contact.

Toutes les matières ne transmettent pas l'énergie de la même façon. Certains, comme les métaux, sont de bons conducteurs thermiques. D'autres, comme le bois ou les matières synthétiques, sont de médiocres conducteurs.

Parmi ces matières, les matériaux de construction seront, eux aussi, plus ou moins conducteurs de l'énergie thermique.

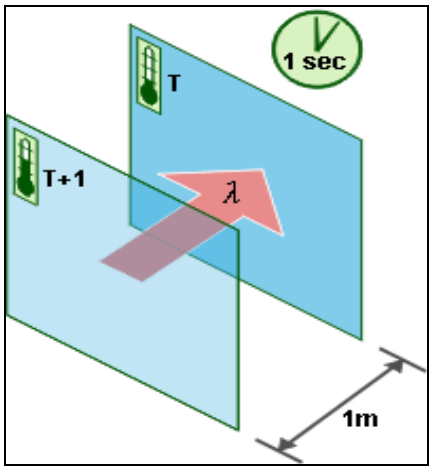
On caractérisera les matériaux par les coefficients suivants :

- **La conductivité thermique du matériau (λ)**

La conductivité thermique (λ) est une caractéristique propre à chaque matériaux.

Elle indique la quantité de chaleur qui se propage :

- en 1 seconde,
- à travers 1 m² d'un matériau,
- épais d'un 1 m,
- lorsque la différence de température entre les deux faces est de 1 K (1 K = 1°C).



La conductivité thermique s'exprime en **W/m.K**.

Plus la conductivité thermique est élevée, plus le matériau est conducteur de la chaleur. Plus elle est faible, plus le produit est isolant.

Ce coefficient n'est valable que pour les matériaux homogènes. Il n'a pas de sens pour les matériaux hétérogènes au travers desquels la chaleur se propage en même temps par conduction, convection et rayonnement.

Le coefficient de conductivité thermique d'un matériau varie en fonction de la température et de l'humidité de celui-ci.

Remarque : λ *est une caractéristique physique du matériau indépendant de sa forme.*

- **La résistivité thermique du matériau (r)**

La résistivité thermique (ρ) est l'inverse de la conductivité thermique.

$$\rho = 1 / \lambda$$

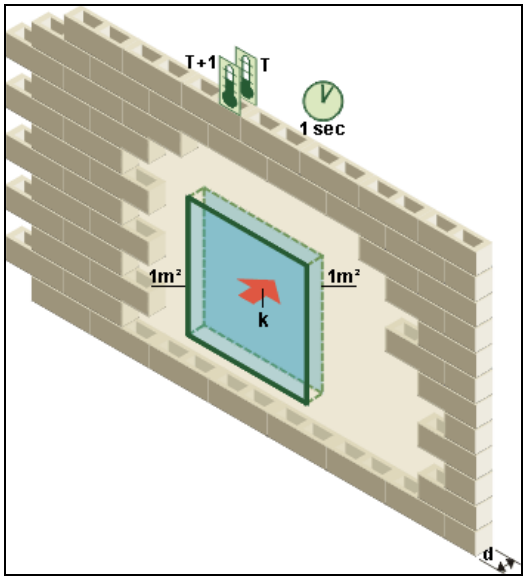
Elle s'exprime en **m.K/W**.

Plus la résistivité thermique est élevée, plus le matériau est isolant.

- **La perméance thermique d'une couche de matériau (P)**

  La perméance thermique (P) indique la quantité de chaleur qui se propage :

  - en 1 seconde,
  - à travers 1 m² d'une couche de matériau,
  - d'une épaisseur déterminée,
  - lorsque la différence de température entre les deux faces est de 1 K (1 K = 1°C).



  La perméance thermique s'exprime en W/m²K.

  Plus la perméance thermique est élevée, plus la couche laisse passer la chaleur.

  Ce coefficient est valable que pour les matériaux homogènes et pour les matériaux hétérogènes.

  - Matériau homogène : P = λ / d où d = épaisseur de la paroi.
  - Matériau hétérogène : P est déduite d'essais effectués en laboratoire.

- **La résistance thermique d'une couche de matériau (R)**

  La résistance thermique (R) est l'inverse de la perméance thermique.

  R = 1 / P

  Elle s'exprime en m²K/W.

  C'est la mesure de performance de la couche isolante. Plus la résistance thermique est élevée, plus la couche est isolante.

  Ce coefficient est valable que pour les matériaux homogènes et pour les matériaux hétérogènes.

  - Matériau homogène : R = d / λ où d = épaisseur de la paroi.
  - Matériau hétérogène : Ru (utile) est déduite d'essais effectués en laboratoire.

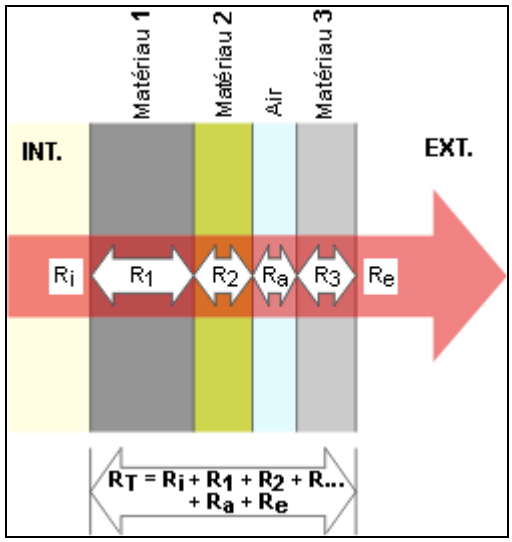
  En général, la résistance thermique des couches dont l'épaisseur d <0.001 m n'est pas prise en compte pour le calcul de la résistance thermique totale des parois.

1.1.2.2. La propagation de la chaleur à travers une paroi

Une paroi séparant deux ambiances de températures différentes, constitue un obstacle plus ou moins efficace, au flux de chaleur qui va s'établir de la chaude vers la froide.

La chaleur va devoir :

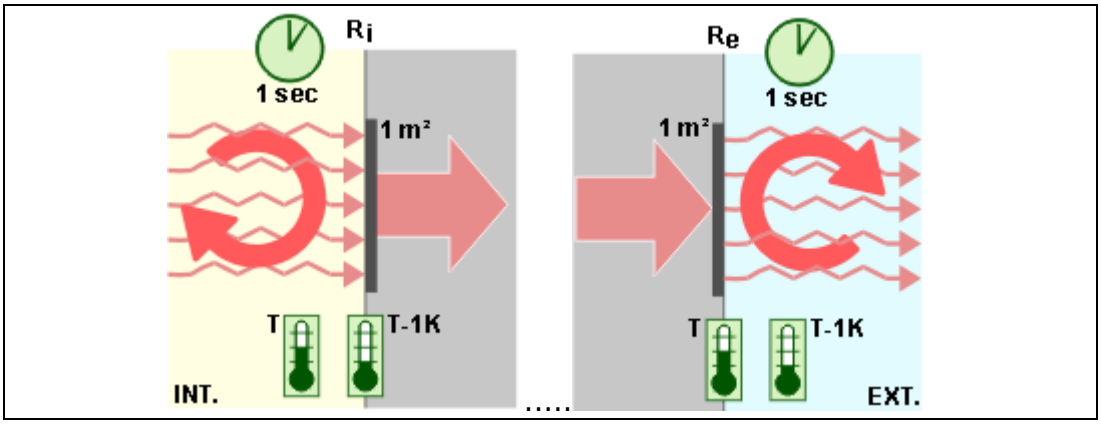
- pénétrer dans la paroi,
- traverser les différentes couches de matériaux constituant la paroi,
- traverser des couches d'air éventuelles,
- et sortir de la paroi.



Outre la résistance thermique des différents matériaux (R), les coefficients thermiques utilisés sont les suivants :

- **La résistance thermique d'échange superficiel (Ri et Re)**

La transmission de la chaleur de l'air ambiant à une paroi et vice versa se fait à la fois par rayonnement et par convection.



- **hi**, le coefficient d'échange thermique superficiel entre une ambiance intérieure et une paroi est la somme des quantités de chaleur transmise entre une ambiance intérieure et la face intérieure d'une paroi, par convection et par rayonnement, par unité de temps, par unité de surface de la paroi, et pour un écart de 1 K entre la température de la résultante sèche de l'ambiance et la température de surface.

hi s'exprime en **W/m²K.**

- **Ri**, la résistance thermique d'échange d'une surface intérieure est égale à l'inverse du coefficient d'échange thermique de surface intérieure hi.

Ri = 1/hi

Ri s'exprime en **m²K/W**

- **he**, le coefficient d'échange thermique superficiel entre une paroi et une ambiance extérieure est la somme des quantités de chaleur transmise entre la face extérieure d'une paroi et une ambiance extérieure, par convection et par rayonnement, par unité de temps, par unité de surface de la paroi, et pour un écart de 1 K entre la température de la résultante sèche de l'ambiance et la température de surface.

he s'exprime en **W/m²K**

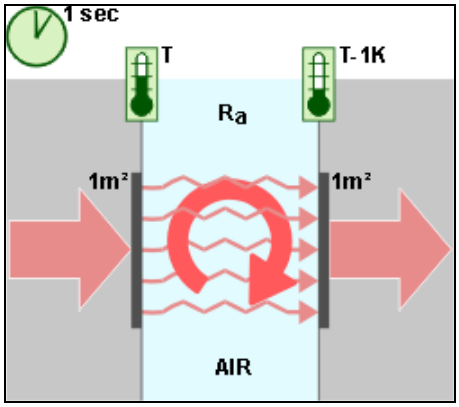
- **Re**, la résistance thermique d'échange d'une surface extérieure est égale à l'inverse du coefficient d'échange thermique de surface extérieure he.

Re = 1/he

Re s'exprime en **m²K/W**.

Valeurs de h_i, h_e, R_i et R_e	h_i	R_i	h_e	R_e
paroi verticale flux de chaleur horizontal.	8 W/m²K	0,125 m²K/W	23 W/m²K	0,043 m²K/W
paroi horizontale flux de chaleur vers le haut	8 W/m²K	0,125 m²K/W	23 W/m²K	0,043 m²K/W
paroi horizontale flux de chaleur vers le bas	6 W/m²K	0,167 m²K/W	23 W/m²K	0,043 m²K/W

- **La résistance thermique des couches d'air (Ra)**



Ra, la résistance thermique d'une couche d'air plane est l'inverse de la quantité de chaleur qui est transmise en régime permanent de la face chaude de la couche d'air vers la face froide, par conduction, convection et rayonnement, par unité de temps, par unité de surface et pour un écart de 1 K entre les températures des faces chaudes et froides.

Ra s'exprime en **m²K/W.**

Résistance thermique d'une couche d'air non ventilée.

Épaisseur de la couche d'air	Couche d'air verticale	Couche d'air horizontale Flux de chaleur vers le haut	Couche d'air horizontale Flux de chaleur vers le bas
1 mm	0,035 m²K/W	0,035 m²K/W	0,035 m²K/W
5 mm	0,110 m²K/W	0,110 m²K/W	0,110 m²K/W
10 mm	0,150 m²K/W	0,130 m²K/W	0,150 m²K/W
20 mm	0,170 m²K/W	0,150 m²K/W	0,200 m²K/W
□ 50 mm	0,170 m²K/W	0,150 m²K/W	0,210 m²K/W

Résistance thermique d'une couche d'air peu ventilée.

Épaisseur de la couche d'air	Couche d'air verticale	Couche d'air horizontale Flux de chaleur vers le haut	Couche d'air horizontale Flux de chaleur vers le bas
1 mm	0,017 m²K/W	0,017 m²K/W	0,017 m²K/W
5 mm	0,055 m²K/W	0,055 m²K/W	0,055 m²K/W
10 mm	0,075 m²K/W	0,065 m²K/W	0,075 m²K/W
20 mm	0,085 m²K/W	0,075 m²K/W	0,100 m²K/W
□ 50 mm	0,085 m²K/W	0,075 m²K/W	0,105 m²K/W

Résistance thermique d'une couche d'air très ventilée

Dans le cas d'une couche d'air très ventilée, on considère que :

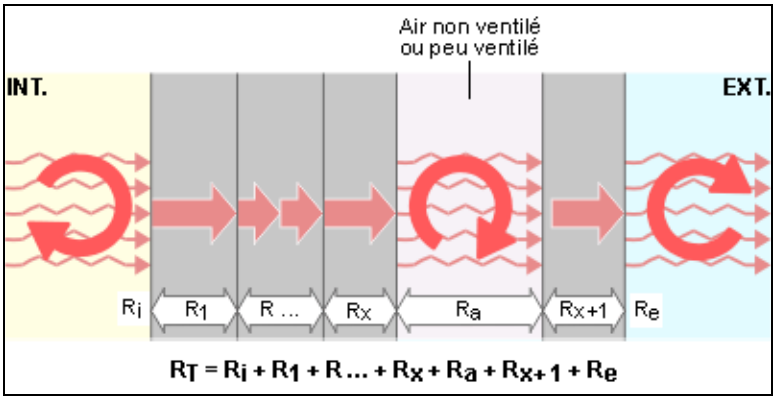
- R_a = 0 m²K/W
- Les matériaux situés du côté froid de la couche d'air n'interviennent pas dans le calcul de la résistance thermique globale R_T de la paroi.
- La température dans la couche d'air est égale à la température extérieure.
- La résistance thermique d'échange entre la face chaude de la couche d'air et la couche d'air vaut R_i.

- **La résistance thermique totale d'une paroi (RT)**

La résistance thermique totale RT d'une parois d'ambiance intérieure chaude à ambiance extérieure froide, est égale à la somme des résistances thermiques de toutes les couches de matériaux ou d'air peu ou non ventilé, qui constituent la paroi, et des résistances d'échange superficiel.

$$RT = Ri + R1 + (R2) + (R...) + (Ra) + Re$$

Les valeurs entre parenthèses n'existent pas lorsque la couche (d'air ou de matériau) est absente.

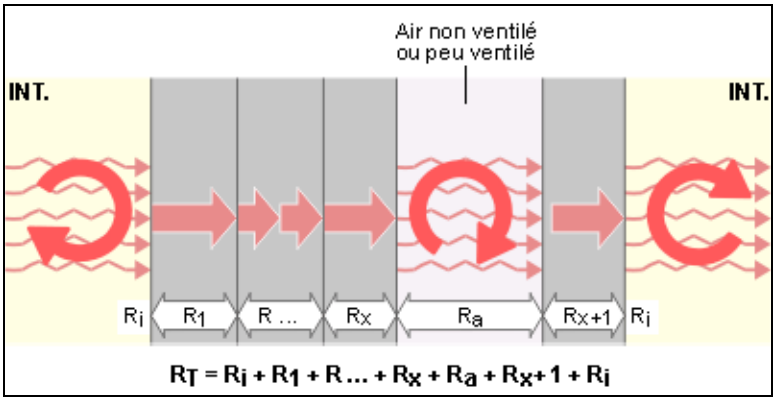


Remarque.

Dans le cas où la paroi sépare deux ambiances intérieures l'une froide et l'autre chaude, la formule devient :

$$RT = Ri + R1 + (R2) + (R...) + (Ra) + Ri$$

Les valeurs entre parenthèses n'existent pas lorsque la couche (d'air ou de matériau) est absente.



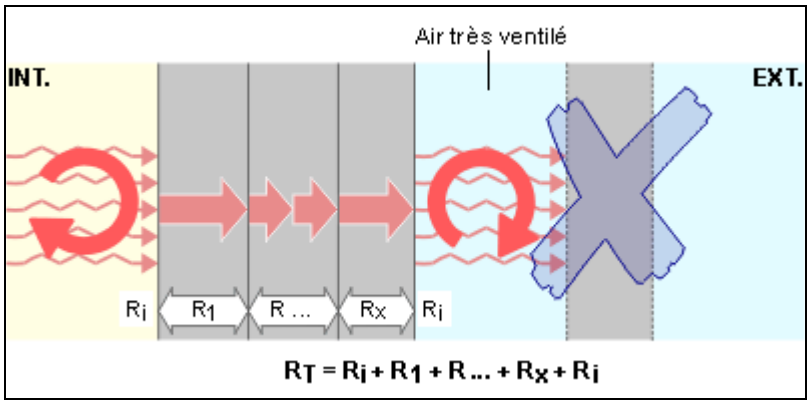
Autre remarque.

Dans le cas où la paroi contient une couche d'air fortement ventilé, on ne considère que la partie située du côté chaud de la couche d'air, et on considère que cette partie sépare deux ambiances intérieures dont celle située côté froid est à la température extérieure.

Dans ce cas, formule devient :

$$RT = Ri + R1 + (R2) + (R...) + Ri$$

Les valeurs entre parenthèses n'existent pas lorsque la couche de matériau est absente.



- **Le coefficient de transmission thermique d'une paroi "U" (ou anciennement "k")**

  Le coefficient de transmission thermique du paroi est la quantité de chaleur traversant cette paroi en régime permanent, par unité de temps, par unité de surface et par unité de différence de température entre les ambiances situées de part et d'autre de la paroi.

  Le coefficient de transmission thermique est l'inverse de la résistance thermique totale (RT) de la paroi.

$$U = 1 / RT$$

U (ou k) s'exprime en **W/m²K**

Plus sa valeur est faible et plus la construction sera isolée.

1.1.2.3. Calculer le niveau d'isolation lorsque la nature et l'épaisseur de l'isolant sont connues.

L'isolant thermique est la couche d'une paroi qui influence le plus ses qualités thermiques.

En première approximation, le calcul du niveau d'isolation peut se faire en ne tenant compte que de l'isolant sur base de la formule simplifiée :

$$U = \lambda / e,$$

Avec :

λ : La conductivité thermique de l'isolant
e : l'épaisseur de l'isolant

1.1.2.4. Calculer le niveau d'isolation lorsque la nature et l'épaisseur de l'isolant sont inconnues.

Il est aussi possible de mesurer la température de surface intérieure et d'en déduire le coefficient de transmission thermique U (anciennement "k") de la paroi. Il peut être estimé par la formule :

U = (Tint - Tsurf) / (0.125 x (Tint - Text)) EN RÉGIME STATIONNAIRE !

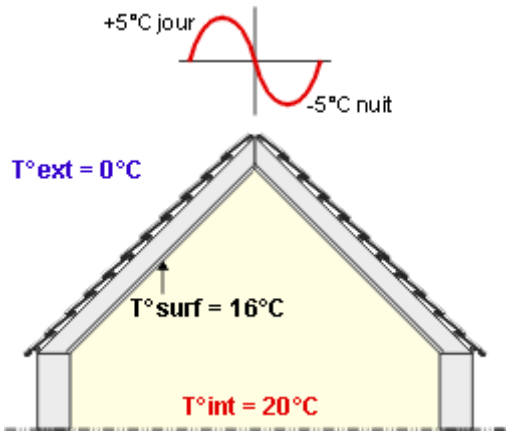
Où :

- *T_{int} est la température ambiante dans le local*
- *Tsurf est la température de surface de la paroi (le plafond dans l'exemple ci-dessous*
- *Text est la température extérieure.*

Pour que les valeurs obtenues soient valables, il faut que la paroi soit en régime thermique stationnaire (c'est à dire que les températures intérieures et extérieures ne subissent pratiquement pas de variation).

Il faut donc éviter de faire ces mesures sur des parois ensoleillées, tôt le matin ou en début de soirée.

Exemple 1.

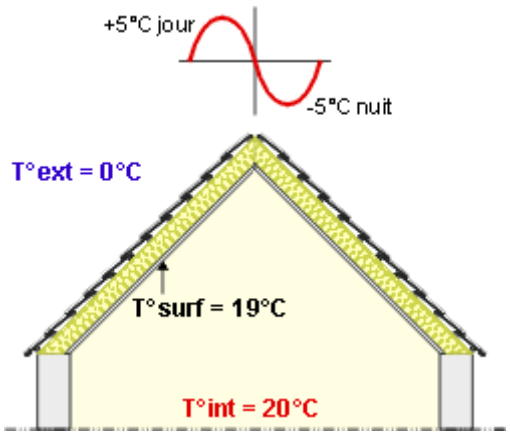


Temps couvert.
Température extérieure jour : + 5°C.

Température extérieure nuit : - 5°C.
Température stable du local : 20°C.
Température du plafond : 16°C

- Température moyenne extérieure : 0°C.
- U = (20 - 16) / (0.125 (20 - 0)) = 1.6 W/m²K
- la toiture n'est pas isolée !

Exemple 2.



Valeurs constatées :

Temps couvert.
Température extérieure jour : + 5°C.
Température extérieure nuit : - 5°C.
Température stable du local : 20°C.
Température du plafond : 19°C

- Température moyenne extérieure : 0°C.
- U = (20 - 19) / (0.125 (20 - 0)) = 0.4 W/m²K
- la toiture est suffisamment isolée !

1.1.2.5.

1.1.2.6. Valeurs de référence.

Le tableau ci-dessous présente les valeurs à atteindre pour respecter les dernières exigences en matière d'isolation de bâtiments en Région Wallonne et en Région Bruxelloise. Celles-ci dépendent du type de paroi et de leur environnement.

Élément de construction	U_{max} (W/m²K)	R_{min} (m²K/W)
1. PAROIS DELIMITANT LE VOLUME PROTÉGÉ, à l'exception des parois formant la séparation avec un volume protégé adjacent.		
1.1. PAROIS TRANSPARENTES/TRANSLUCIDES, à l'exception des portes et portes de garage (voir 1.3), des murs-rideaux (voir 1.4) et des briques en verre (voir 1.5)	$U_{W,max}$ = 2.5 (1) et $U_{g,max}$ = 1.6 (2)	
1.2. PAROIS OPAQUES, à l'exception des portes et portes de garage (voir 1.3) et des murs-rideaux (voir 1.4)		
1.2.1. toitures et plafonds	U_{max} = 0.3	
1.2.2. murs non en contact avec le sol, à l'exception des murs visés en 1.2.4.	U_{max} = 0.4	
1.2.3. murs en contact avec le sol		R_{min} = 1.0 (3)
1.2.4. parois verticales et en pente en contact avec un vide sanitaire ou avec une cave en dehors du volume protégé		R_{min} = 1.0 (3)
1.2.5. planchers en contact avec l'environnement extérieur	U_{max} = 0.6	
1.2.6. autres planchers (4)	U_{max} = 0.4 ou	R_{min} = 1.0 (3)
1.3. PORTES ET PORTES DE GARAGE (cadre inclus)	$U_{D,max}$ = 2.9 (5)	
1.4. MURS-RIDEAUX (suivant prEN 13947)	$U_{CW,max}$ = 2.9 et $U_{g,max}$ = 1.6 (2)	
1.5. PAROIS EN BRIQUES DE VERRE	U_{max} = 3.5	
2. PAROIS entre 2 volumes protégés (6) situés sur des parcelles adjacentes (7)	U_{max} = 1.0	
3. PAROIS opaques à l'intérieur du volume protégé ou adjacent à un volume protégé sur la même parcelle (8) à l'exception des portes et portes de garage:	U_{max} = 1.0	

Notes :

(1) Pour l'évaluation de $U_{W,max}$, il faut tenir compte de la valeur moyenne pondérée par les surfaces de toutes les parois transparentes/translucides (fenêtre dans son ensemble (châssis + vitrage)) auxquelles s'applique l'exigence.

(2) Ug est la valeur U centrale du vitrage en position verticale. Chaque vitre en soi doit satisfaire à la valeur centrale Ug,max.
Cette valeur est la valeur déclarée par le fabricant dans la déclaration de conformité CE.

(3) Valeur R totale, calculée depuis la surface intérieure jusqu'à la surface de contact avec le terre-plein, le vide sanitaire ou la cave non chauffée.
Il ne faut donc pas prendre en compte la résistance superficielle des parois.

(4) Le mode de calcul pour ces planchers sont repris au chapitre 15 de l'arrêté ministériel déterminant les règles pour le calcul des pertes par transmission.

Valeurs R min/U max réglementaires en Région Wallonne et en Région Bruxelloise.

1.2. Paramètres mesurés

La température est exprimée en degré. L'échelle de température la plus répandue est le degré Celsius, dans laquelle l'eau gèle à 0°C et bout à environ 100°C dans les conditions standard de pression. Dans les pays utilisant le système impérial (anglo-saxon) d'unités, on emploie le degré Fahrenheit (gel à 32°F et ébullition à 212°F). L'unité du système international d'unités, d'utilisation scientifique et définie à partir du zéro absolu, est le kelvin (Zéro absolu = 0°K = -273,15 °C). L'échelle Kelvin est un décalage de 273,15° de l'échelle Celsius. En conséquence, une unité de °K égale une unité de °C mais n'est pas égale à une unité de °F.

1.2.1. Température ambiante

La température est une grandeur physique mesurée à l'aide d'un thermomètre.
Dans la vie courante, elle est reliée aux sensations de froid et de chaud, provenant du transfert de chaleur entre le corps humain et son environnement.
En physique, elle se définit de plusieurs manières :

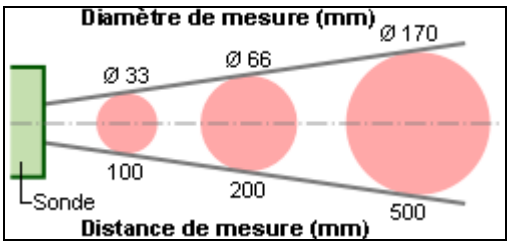
- comme fonction croissante du degré d'agitation thermique des particules,
- par l'équilibre des transferts thermiques entre plusieurs systèmes.

1.2.2. Température de paroi

Les thermomètres infrarouges permettent de mesurer la température d'une surface, sans contact. Ils conviennent particulièrement pour les mauvais conducteurs de chaleur (céramique, caoutchouc, matières synthétiques, ...), pour la mesure de la température de pièces en mouvement, zones inaccessibles au toucher (plafond), des pièces sous tension électrique, ...

Ces appareils ont un temps de réponse quasi instantané. Leur précision (+ ou - 2 °C) est dépendante :

- Du facteur d'émission de la surface mesurée. Les appareils restent le plus souvent réglés sur une valeur standard pour la plupart des matériaux de construction. Les légères variations d'émission entre ceux-ci peuvent être source d'erreur. La mesure sur un métal nu est, elle, impossible.
- De la présence de particule dans l'ambiance (brouillard de vapeur, poussières...).
- De la propreté de la lentille de l'appareil.
- De l'angle de mesure. Le résultat de la mesure est en fait une moyenne de la température de la surface vue par l'appareil. Or, celle-ci augmente avec la distance qui sépare l'appareil de l'objet à mesurer. On a donc intérêt à se trouver le plus près possible de celui-ci sous peine d'obtenir une surface de mesure trop grande par rapport à l'objet et une mesure fausse. Un viseur laser permet de mieux viser la surface à mesurer.



Angle de mesure d'un thermomètre de surface IR. Par exemple, à 50 cm de l'appareil, le diamètre de la surface de mesure peut déjà atteindre 17 cm !

Ces imprécisions rendent ces appareils inutilisables dans le cadre d'une expertise précise mais sont d'une grande utilité pour se donner une première idée de la situation. Le mieux est de combiner thermomètre infrarouge et de contact.

1.2.3. Emissivité d'un matériau

L'émissivité d'un matériau (souvent écrite ε ou epsilon), est le rapport entre l'énergie qu'il rayonne et celle qu'un corps noir rayonnerait à la même température. C'est donc une mesure de la capacité d'un corps à absorber et à réémettre l'énergie rayonnée. Dans le cas du corps noir, qui absorbe et réémet toute l'énergie, $\varepsilon = 1$. Et pour un corps quelconque, de température uniforme, on aura $\varepsilon < 1$. Un objet d'émissivité faible, en particulier un objet ayant une surface métallique constitue un bon isolant au rayonnement thermique. En effet, de même qu'ils stoppent les rayonnements radiofréquences, les bons conducteurs stoppent le rayonnement infrarouge.

1.3. Mode d'utilisation du thermomètre

Le thermomètre Testo 810 présente 2 canaux pour mesure de température ambiante et de température superficielle avec visée laser (par infrarouge - IR). Il mesure simultanément la température ambiante et la température de surface sans contact.

Prise en main

- **Insérer les piles :**

1 Ouvrez le compartiment pile : faites glisser le couvercle vers le bas.
2 Insérez les piles (2 piles 1,5 V type AAA). Attention à la polarité !
3 Fermez le compartiment pile : faites glisser le couvercle vers le haut.

Paramétrage (mode configuration) :

Fonctions paramétrables

1. Fonction Auto Off : OFF (désactivée), ON (activée, l'appareil s'éteint automatiquement 10 min après le dernier actionnement de touche)
2. Unité de mesure : °C (degré Celsius) ou °F (degré Fahrenheit).
3. Température différentielle Δ**t** : **OFF** (désactivée), **ON** (activée). Cette fonction permet l'affichage automatique de la différence de température entre la température ambiante et la température de paroi.
4. Facteur d'émission : Le facteur d'émission est paramétré sur 0.95 par défaut. Cette valeur est idéale pour la mesure des non-métaux, des plastiques et des produits alimentaires.

Matériau (température)	ε
Aluminium, laminé à froid (170 °C)	0,04
Coton (20 °C)	0,77
Béton (25 °C)	0,93
Glace lisse (0 °C)	0,97
Fer poncé (20 °C)	0,24
Fer avec peau de fonderie (100 °C)	0,80
Fer avec peau de laminage (20 °C)	0,77
Plâtre (20 °C)	0,90
Verre (90 °C)	0,94
Caoutchouc dur (23 °C)	0,94
Caoutchouc mou, gris (23 °C)	0,89
Bois (70 °C)	0,94
Liège (20 °C)	0,70
Radiateur noir anodisé (50 °C)	0,98
Cuivre légèrement terni (20 °C)	0,04
Cuivre oxydé (130 °C)	0,76
Plastiques : PE, PP, PVC (20 °C)	0,94
Laiton oxydé (200 °C)	0,61
Papier (20 °C)	0,97
Porcelaine (20 °C)	0,92
Peinture noire mate (80 °C)	0,97
Acier, surface trempée (200 °C)	0,52
Acier oxydé (200 °C)	0,79
Argile cuite (70 °C)	0,91
Vernis transformateur (70 °C)	0,94
Brique, mortier, enduit (20 °C)	0,93

Valeurs d'émissivité pour quelques matériaux courants

En raison de leur facteur d'émission faible et/ou inégale, les métaux nus et les oxydes métalliques ne se prêtent que sous réserve à la mesure par infrarouge. Il est donc conseillé dans ce cas d'appliquer sur l'objet ou la zone à mesuré un revêtement qui augmente le facteur d'émission (une bande autocollante par exemple).

1 Lors de l'allumage de l'appareil, maintenez la touche ⏻ enfoncée jusqu'à ce que ▲ et ↵ s'affichent (mode configuration).

La fonction paramétrable est affichée. Le paramètre actuel clignote.

2 Appuyez plusieurs fois sur ▲ jusqu'à ce que le paramètre désiré clignote.

3 Appuyez sur Mode (↵) pour confirmer la saisie.

4 Répétez les étapes **2** et **3** pour toutes les fonctions.

- L'appareil passe en mode mesure.

Utilisation :

- **Allumer l'appareil :**

  Appuyez brièvement sur ⏻.
  → Le mode mesure s'ouvre.

- **Allumer l'éclairage de l'écran**

  L'appareil est allumé.
  Appuyez sur ⏻.

→ L'éclairage de l'écran s'éteint automatiquement 10 s après le dernier actionnement de touche.

- **Mesure de température ambiante :**
  - la prise de mesure de la température ambiante n'est pas instantanée. Le thermomètre présente une certaine inertie. Il est donc important d'attendre la stabilisation de la mesure (environ 15 minutes).
  - Afin de ne pas perturber la mesure, durant la phase de stabilisation, il faut éloigner du capteur les sources de chaleur (par exemple les mains).
- **Mesure de la température de paroi :**

Rayonnement laser ! Ne pas regarder directement le faisceau. Laser de classe 2

  - Il faut éliminer de la zone de mesure la poussière, la saleté et l'humidité qui pourrait perturber la mesure.
  - Veillez à ce que la lentille soit toujours propre.
  - L'appareil présente des caractéristiques optiques propres. Cela signifie que, plus l'éloignement est important par rapport au point de mesure, plus la surface de mesure sera grande.

Distance cm	Diamètre de la surface de mesure cm
10	3
60	11
100	18
200	35

La température mesurée représente la température moyenne de la surface de mesure. Cela signifie que, plus l'éloignement est important, plus la précision de la mesure diminue.

  - La mesure de température de paroi est instantanée.

Pour la mesure : Maintenez la touche ▲ enfoncée.

- clignote sur l'écran. Le point laser définit le point central de la surface à mesurer.
- Une fois la mesure infrarouge terminée (relâchez la touche ▲), l'appareil passe en mode d'affichage **Hold** et les valeurs sont conservées.

- **Changer l'affichage de l'écran :**

Affichages paramétrables

- **Hold :** Les valeurs sont conservées
- **Max :** Valeurs maximales depuis la dernière mise en marche de l'appareil ou depuis la dernière mise à jour.
- **Min :** Valeurs minimales depuis la dernière mise en marche de l'appareil ou depuis la dernière mise à jour.

Appuyez plusieurs fois sur jusqu'à ce que l'affichage désiré s'affiche.

- **Mise à jour des valeurs maximales et minimales :**

1 Appuyez plusieurs fois sur jusqu'à ce que l'affichage désiré apparaisse.
2 Maintenez la touche enfoncée jusqu'à ce que ---- s'affiche.
3 Répétez les étapes **1** et **2** pour toutes les valeurs que vous désirez mettre à jour.

- **Éteindre l'appareil :**

  Maintenez la touche enfoncée jusqu'à ce que l'affichage s'éteigne.

Entretien du produit

- **Changer les piles :**

  1 Ouvrez le compartiment pile : faites glisser le couvercle vers le bas.
  2 Retirez les piles vides et insérez-en des nouvelles (2 piles 1,5 V type AAA). Attention à la polarité !
  3 Fermez le compartiment pile : faites glisser le couvercle vers le haut.

- **Nettoyer le boîtier :**

  En cas de salissure, nettoyez le boîtier avec un linge humide (eau savonneuse). N'utilisez pas de solvants ni de produits de nettoyage forts !

2. ENREGISTREUR DE TEMPÉRATURE DANS LE TEMPS

2.1. Notions de base

2.1.1. Intermittence de chauffage

Image de l'économie = la température intérieure

La consommation d'une installation de chauffage est proportionnelle à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. Plus cette différence diminue, moins on consommera.

Graphiquement, on peut représenter la consommation de chauffage comme suit :

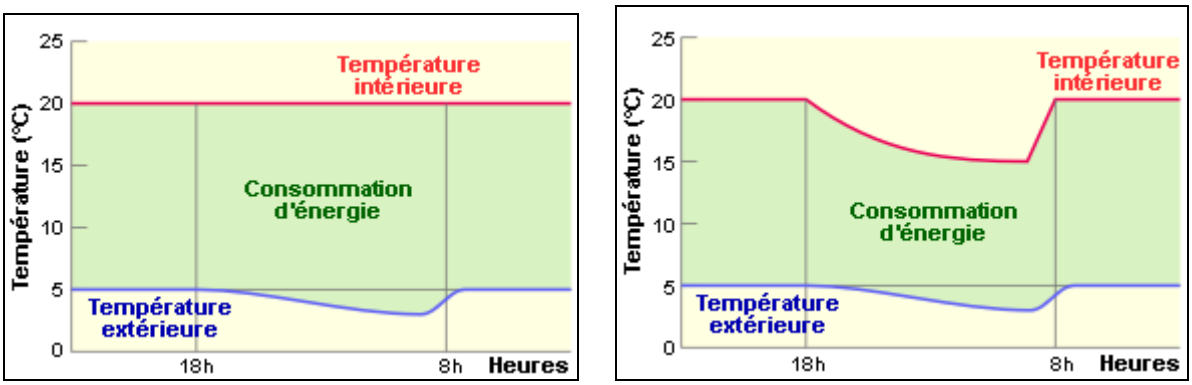
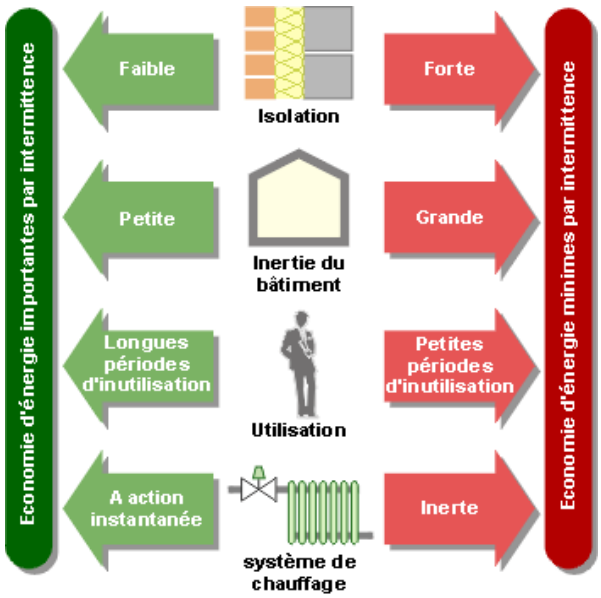


Image de la consommation de chauffage sans intermittence et avec intermittence.

On voit donc que plus la température intérieure chute et plus le temps pendant lequel cette température est basse est important, plus l'économie d'énergie réalisée grâce à l'intermittence est importante.

Paramètres influençant l'économie

Si l'installation est coupée la nuit et le week-end, quelles seront les économies engendrées ? La figure ci-dessous résume les différents paramètres qui influencent le bilan thermique.



L'économie est fonction du degré d'isolation

Plus le bâtiment est isolé, moins la chaleur emmagasinée s'échappera et plus la température intérieure restera stable lors de la coupure du chauffage. L'économie réalisée sera faible.

Au contraire, lorsque le chauffage est coupé dans un bâtiment peu isolé (des façades très vitrées, par exemple, avec des infiltrations d'air importantes), la température intérieure chute rapidement. C'est dans ce genre de bâtiment "passoire" que le placement d'un régulateur-programmateur sera le plus rentable.

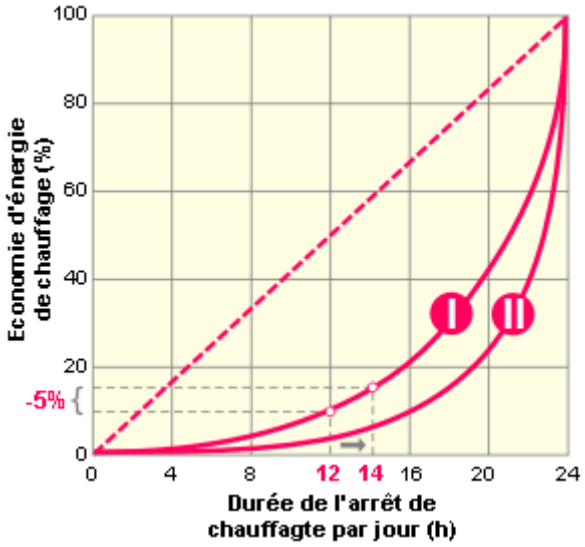
L'économie est fonction de l'inertie de bâtiment

Imaginons un local très lourd, très inerte (anciennes constructions massives) : la température intérieure chutera peu durant la coupure de nuit, car beaucoup de chaleur s'est accumulée dans les murs. Les économies seront faibles... . Par exemple, il ne sert à rien de placer un optimiseur dans un château fort.

Par contre, si le bâtiment est du type préfabriqué, fait de poutrelles et de cloisons légères : dès que le chauffage s'arrêtera, la température chutera. Dans ce cas, la consommation est pratiquement proportionnelle à l'horaire de chauffe. C'est l'exemple de la voiture qui monte rapidement en température dès l'apparition du soleil et qui se refroidit très vite aussi dès que l'on coupe le chauffage.

L'économie est fonction de la durée de coupure

Une coupure d'un week-end est beaucoup plus efficace qu'une coupure nocturne. La coupure sur le temps de midi est sans intérêt.



Économie d'énergie suite à un abaissement nocturne pour différents types de bâtiments en fonction de la durée de l'arrêt de chauffage. Le pourcentage d'économie se rapporte à un chauffage permanent.

I. Bâtiments de construction légère
II. Bâtiments de construction lourde

Par exemple, une interruption du chauffage de 12 heures génère 11 % d'économie dans un bâtiment de construction légère (faible inertie thermique). On gagne encore 5% si on coupe 2 heures de plus.

Source : Staefa Control.

L'économie est fonction du sur-dimensionnement de l'installation de chauffage

Si l'installation est très puissante (chaudière et radiateurs surdimensionnés), la relance du matin pourra se faire en dernière minute. Et donc la température intérieure de nuit pourra être plus faible.

Si l'installation est dimensionnée au plus juste, par les plus grands froids, il sera impossible de couper l'installation la nuit, sous peine de ne pouvoir assurer le confort au matin. Aucune économie ne sera possible.

L'économie est fonction du type d'installation de chauffage

Si le chauffage est assuré par un système à air chaud (chauffage très peu inerte), la mise en régime et l'arrêt du chauffage sont immédiats. Si l'installation est réalisée par un système de chauffage par le sol (chauffage très inerte), les temps de réponse seront forts longs et l'intermittence n'est guère envisageable ...

Exemple

Exemple.

(Source : "Guide pour la pratique de l'Intermittence du chauffage dans le tertiaire à occupation discontinue", ADEME, 1989)

Trois bâtiments, respectivement de 500 (1 niveau), 2 000 (2 niveaux) et 4 000 m² (4 niveaux) sont chauffés 10 h par jour et 5 jours par semaine.

Le niveau de surpuissance de l'installation de chauffage est assez élevé puisqu'il atteint 2 fois les déperditions (calculées avec un taux de ventilation réduit).

Trois niveaux d'isolation ont été repris :

- *Peu isolé : simples vitrages, murs non isolés.*
- *Très isolé : doubles vitrages, murs avec 8 cm d'îsolant.*
- *Bien isolé : niveau intermédiaire entre les 2 précédents.*

Trois modes de coupure sont proposés :

- *Un abaissement de la température de l'eau de chauffage.*
- *Une coupure totale du chauffage (avec maintien hors gel) par une horloge qui relance l'installation toujours au même moment le matin.*
- *Une coupure totale (avec maintien hors gel) avec une relance optimisée "just in time" !*

Économie par rapport au fonctionnement continu				
Mode de ralenti	*Isolation*	*500 m²*	*2 000 m²*	*4 000 m²*
Abaissement de température d'eau				
	peu isolé	*12,5 %*	*11,4 %*	*10,8 %*
	bien isolé	*11,7 %*	*10,9 %*	*10,3 %*
	très isolé	*10,2 %*	*9,5 %*	*8,3 %*
Coupure (horloge)				
faible inertie (150 kg/m²)	*peu isolé*	*37,7 %*	*31,9 %*	*29,5 %*
	bien isolé	*33,8 %*	*29,6 %*	*26,6 %*
	très isolé	*26,5 %*	*22,6 %*	*17,0 %*
forte inertie (400 kg/m²)	*peu isolé*	*37,5 %*	*28,0 %*	*25,0 %*
	bien isolé	*30,6 %*	*25,2 %*	*22,0 %*
	très isolé	*21,9 %*	*18,2 %*	*13,7 %*
Optimiseur				

faible inertie (150 kg/m²)	*peu isolé*	*38,5 %*	*33,4 %*	*31,2 %*
	bien isolé	*35,0 %*	*31,4 %*	*28,7 %*
	très isolé	*28,6 %*	*25,1 %*	*20,1 %*
forte inertie (400 kg/m²)	*peu isolé*	*38,2 %*	*31,2 %*	*28,6 %*
	bien isolé	*33,4 %*	*28,7 %*	*25,8 %*
	très isolé	*25,6 %*	*22,2 %*	*17,6 %*

Température de consigne

Le gain énergétique provient de la diminution des déperditions nocturnes. Et donc, plus la température intérieure descendra, plus l'économie augmentera. Il ne faut pas descendre sous une température de 12°C, parce que :

- Cette température correspond au point de rosée de l'ambiance et que des problèmes de condensation pourraient se poser.
- Malgré la relance du lundi matin, la température des murs serait trop froide et engendrerait de l'inconfort pour les occupants.
- Maintenir 12°C dans le local témoin (où se trouve la sonde de régulation), c'est maintenir l'ensemble du bâtiment hors gel.

Une consigne de 16°C durant la nuit (voire moins) et 14°C durant les week-ends et les périodes scolaires est donc recommandée.

Il faut en outre savoir que cette température de consigne ne sera que rarement atteinte (uniquement en plein hiver), ce du fait de l'inertie thermique du bâtiment qui ralenti la chute de température.

2.1.2. Abaissement de la courbe de chauffe

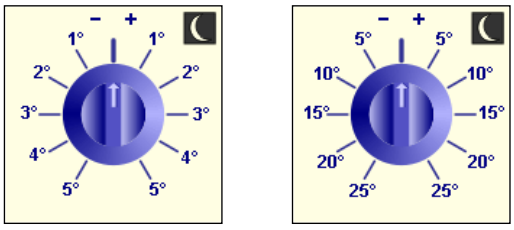
Ce type de programmateur est encore extrêmement répandu dans nos chaufferies.

Il est appliqué sur bon nombre de régulateurs travaillant sur base d'une sonde extérieure. Dans ces derniers, la température de l'eau de chauffage est régulée en fonction de la température via une courbe de chauffe.

Le ralenti de chauffage consiste alors en un changement de courbe de chauffe programmé (souvent en fonction d'une horloge hebdomadaire) pour les périodes d'inoccupation.

Les régulateurs proposent généralement un déplacement parallèle de la courbe de chauffe pour le ralenti via :

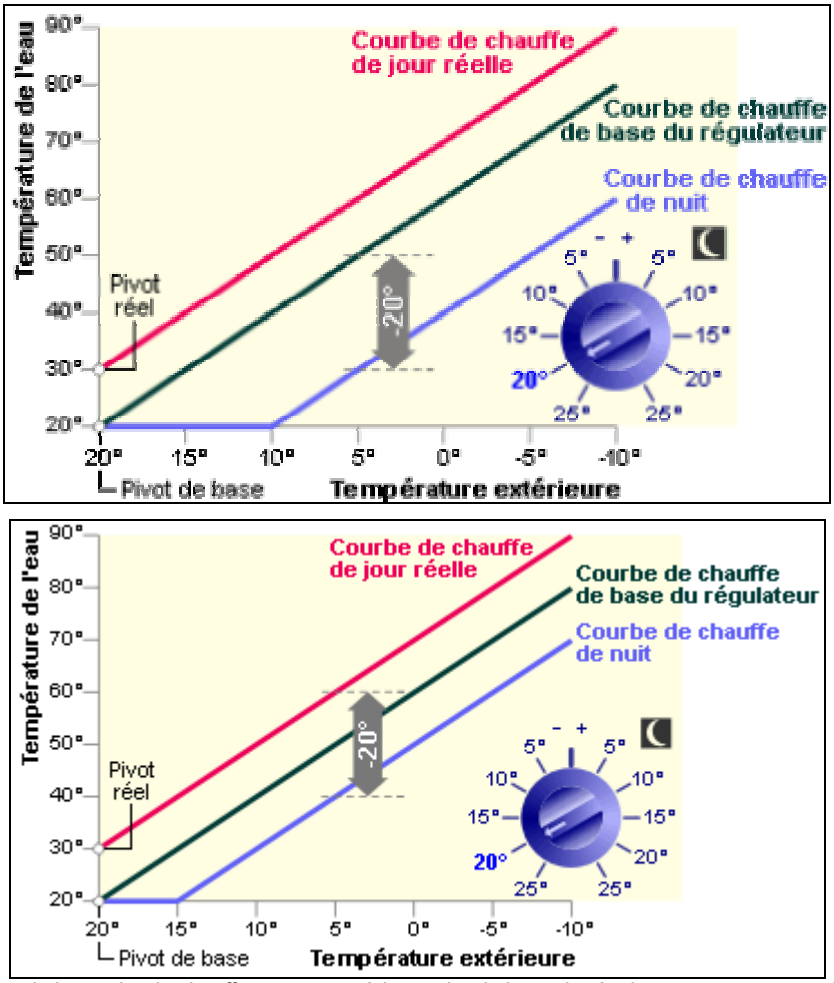
- un potentiomètre gradué en température d'eau. Pour des corps de chauffe dimensionnés pour un régime d'eau 90/70°, on considère souvent qu'une variation de température d'eau de 4 .. 5°C entraîne une variation de température ambiante de 1°C,
- un potentiomètre gradué en température ambiante. Cette grandeur est indicative puisque qu'aucune sonde intérieure ne permet de vérifier la température ambiante qui sera atteinte durant le ralenti,
- un potentiomètre gradué de 0 à 10,



Potentiomètres basés sur la température ambiante ou sur la température d'eau.

En fonction du type de régulateur, le déplacement de ralenti proposé correspond,

- soit à une translation par rapport à la courbe réelle de jour qui a été définie,
- soit à une translation par rapport à la courbe de base du régulateur qui correspond au point pivot préréglé du régulateur.



Abaissement de la courbe de chauffe par rapport à la courbe de base du régulateur ou par rapport à la courbe de chauffe réelle de jour

Il est donc important de vérifier dans le mode d'emploi du régulateur le type de réglage qui est pratiqué.

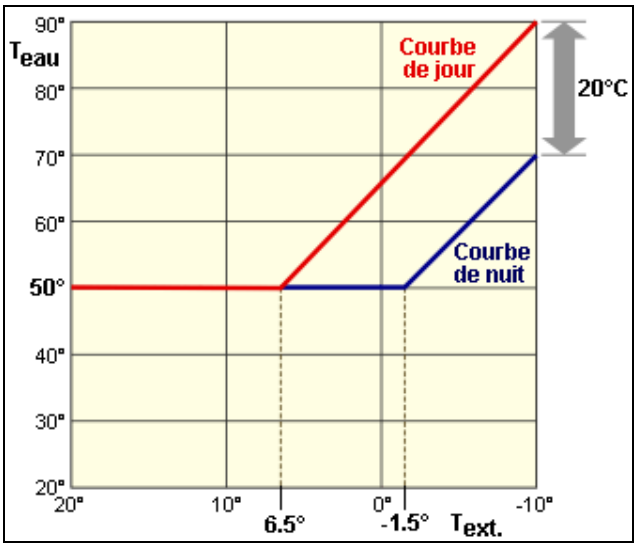
Avec un tel mode de régulation, on parle de ralenti et non de coupure nocturne car, en période d'inoccupation, on continue toujours à fournir de la chaleur au bâtiment, moins qu'en période d'occupation, mais en quantité suffisante pour ne pas permettre un abaissement rapide de la température intérieure.

La relance du chauffage se fait :

- Soit avec la température d'eau définie par la courbe de chauffe de jour. Dans ce cas, la puissance maximale n'est pas appliquée, ce qui rallonge la période de remise en température du bâtiment.
- Soit avec une température dite "de régime accéléré", ce qui diminue le temps de relance.

Notons que, pour protéger de la condensation les chaudières dont la température d'eau ne peut descendre en-dessous d'une certaine valeur, des régulateurs permettent une limitation basse de la température de départ de l'eau (par exemple 50°C). Si c'est le cas et si le réglage de la température d'eau s'effectue directement

au niveau de la chaudière, il n'y aura quasi plus de ralenti de nuit lorsque la température extérieure dépasse un certain seuil.



Courbe de chauffe appliquée à une chaudière "basse température" ne pouvant descendre en-dessous de 50°C. Le ralenti nocturne est réalisé par un abaissement de la température d'eau de la chaudière de 20°C. A partir d'une température extérieure d'environ 0°C, l'intensité du ralenti diminue. Le ralenti disparaît lorsque la température extérieure dépasse 7°C.

2.1.3. Coupure et relance à heures fixes

Ce type de programmateur assure à heures fixes (en fonction d'une horloge quotidienne, hebdomadaire ou annuelle) :

- le fonctionnement normal du chauffage en période d'occupation, régulé par exemple en fonction de la température extérieure,
- l'arrêt complet du chauffage (arrêt des chaudières, fermeture des vannes mélangeuses, arrêt des circulateurs, ...) en fin de période d'occupation,
- la relance du chauffage à allure réduite pendant la période d'inoccupation si la température intérieure, mesurée par une sonde d'ambiance, descend en dessous d'une valeur limite (par exemple 16° en semaine et 14° le week-end),
- la relance du chauffage, à pleine puissance.

Ce type de programmation permet l'arrêt complet du chauffage et la remise rapide en température du bâtiment. Un inconvénient subsiste : la coupure et la relance s'effectue à heures fixes. Or, le temps d'abaissement et de remontée de la température intérieure varie en fonction de la température extérieure, en fonction de la température atteinte pendant la coupure, en fonction de la chaleur emmagasinée dans le bâtiment durant l'occupation, ...

2.1.4. Optimiseurs

Par rapport aux programmateurs assurant une coupure et une relance à heures fixes, les optimiseurs font varier le moment de ces dernières en fonction de différents paramètres.

- Sur base de la température extérieure

Le moment de la coupure et de la relance varie en fonction de la température extérieure. Lorsqu'il fait plus chaud, le refroidissement du bâtiment est plus lent. L'heure de coupure est donc avancée automatiquement. De même, la température intérieure atteinte durant l'inoccupation et l'énergie nécessaire à la relance est plus faible. L'heure de la relance est donc retardée.

Ce type d'optimiseur ne mesurant pas la température intérieure présente une certaine imprécision en ce qui concerne le moment précis où la température intérieure d'occupation sera atteinte.

- Sur base de la température extérieure et intérieure

  L'adjonction de la température intérieure atteinte durant l'inoccupation comme paramètre de décision pour enclencher la relance permet une plus grande précision dans la définition de l'heure de relance. Cela limite les risques d'inconfort et optimalise le temps de coupure et donc l'énergie économisée.

  La paramétrisation de ce type de programmateur reste délicate, en effet, il faut procéder par essais - erreurs, puisque plusieurs paramètres importants reste inconnus de l'utilisateur : l'inertie thermique du bâtiment, le degré de surpuissance du chauffage, ...

- Autoadaptation

  On parle d'"optimiseurs autoadaptatifs".

  Le programmateur adapte automatiquement ses paramètres de réglage au jour le jour, en fonction des résultats qu'il a obtenu les jours précédents. Par rapport à l'optimiseur décrit ci-avant et bien réglé, l'optimiseur autoadaptatif n'apportera pas d'économie d'énergie complémentaire. Son rôle est de faciliter (l'utilisateur ne doit plus intervenir) et donc d'optimaliser le réglage.

Exemple.

Lors de la relance matinale, le but définit à l'optimiseur est d'atteindre la température de 20°C au moment de l'occupation du bâtiment.

Le premier jour, comme l'optimiseur ne connaît pas le bâtiment, ni la surpuissance de l'installation, il démarrera l'installation uniquement en se basant sur la température extérieure et la température intérieure.

Dès lors, il est plus que probable que la température de consigne diurne soit atteinte trop tôt.

Le lendemain, l'optimiseur décalera automatiquement le moment de la relance. Ainsi de suite, jusqu'à ce qu'il trouve seul le bon réglage.

On peut considérer qu'il faut 4 jours à un optimiseur autoadaptatif pour définir correctement la loi qui relie la température extérieure, la température intérieure et le moment de la relance.

L'optimiseur fera le même exercice pour anticiper le moment de la coupure, tout en garantissant le confort des occupants.

2.1.5. Comparaison de l'économie en fonction du type de programmateur

La consommation d'une installation de chauffage est proportionnelle à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. Plus cette différence diminue, moins on consommera.

Graphiquement, on peut représenter la consommation de chauffage comme suit :

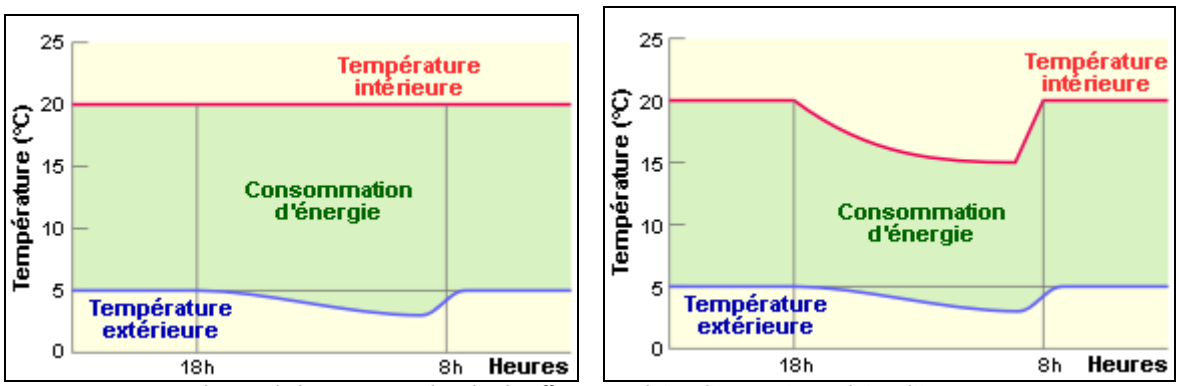
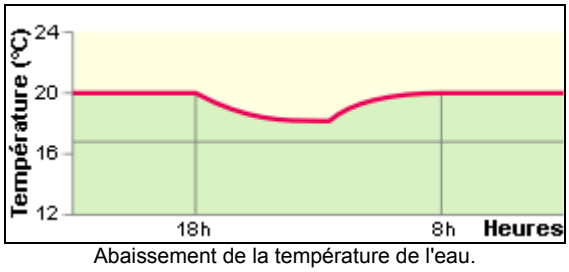


Image de la consommation de chauffage sans intermittence et avec intermittence.

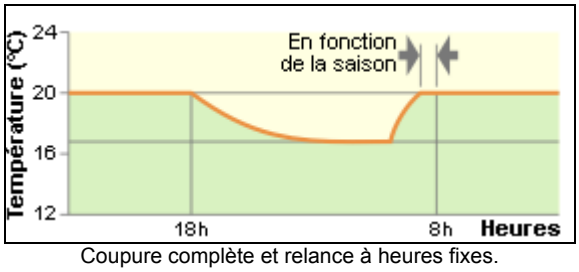
On voit donc que plus la température intérieure chute et plus le temps pendant lequel cette température est basse est important, plus l'économie d'énergie réalisée grâce à l'intermittence est importante.

Comparons l'évolution de la température intérieure (donc l'évolution de l'économie d'énergie) en fonction du programmateur choisi (cas de la mi-saison) :



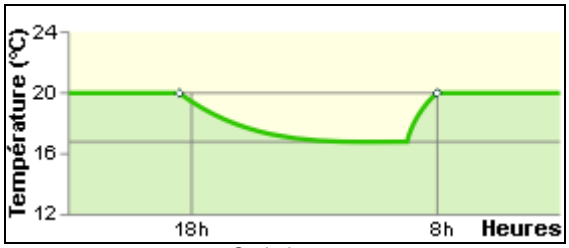
Abaissement de la température de l'eau.

La réduction de température intérieure est lente, de même que la relance.



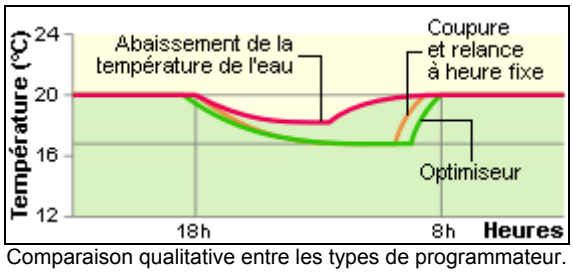
Coupure complète et relance à heures fixes.

Le moment où la température de consigne d'occupation est atteinte dépend de la saison.



Optimiseur.

Les moments de la coupure et de la relance sont adaptés soit automatiquement, soit par réglage de l'utilisateur. La précision du réglage et la différence d'économie entre les 3 types d'optimiseurs dépend de ce dernier.



Comparaison qualitative entre les types de programmateur.

2.2. Paramètres mesurés

L'enregistreur de température va mesurer la température ambiante à intervalle régulier et donner une image de l'évolution de cette mesure sur une durée déterminée.

2.3. Mode d'utilisation de l'enregistreur de température

L'ensemble de données collectées par l'enregistreur de température (capteur) ne peut être traité que par l'intermédiaire d'un ordinateur sur lequel aura été au préalable installer le logiciel de traitement de données lié à l'enregistreur et le « driver » nécessaire à la communication par connexion USB entre l'ordinateur et l'enregistreur. Le système comprend donc trois éléments indissociables : l'enregistreur, le logiciel de traitement et le driver.

Les enregistreurs de données testo 174 servent à l'enregistrement et à la lecture de valeurs de mesure individuelles et de séries de mesures.

Avec le testo 174, les valeurs sont mesurées, enregistrées et transmises via l'interface au PC, où elles peuvent être lues et exploitées à l'aide du logiciel testo ComSoft.

Les enregistreurs de données sont programmés via le logiciel.

Configuration :

1 Insérer la pile fournie dans l'enregistreur de données (CR2032)

2 Installation du logiciel de communication et de traitement de données sur un PC.

3 Raccordement de l'enregistreur au PC

4 Installation de la liaison

5 Configuration de l'enregistreur de données et de la prise de mesure :

Un certain nombre de paramètres doivent être défini avant l'utilisation de l'enregistreur de données.

- Unité de température : °C (degré Celsius) ou °F (degré Fahrenheit).
- Critère de départ : Permet de définir la manière de débuter les mesures :
  - Soit par pression sur touche de l'enregistreur
  - Soit à une heure programmée dans le logiciel
  - Soit par commande PC.
- Intervalle de mesure : Permet de déterminer la durée s'écoulant entre deux prises de mesures par l'enregistreur. Cet intervalle peut être défini entre 1 min et 4 heures. Sur une campagne de mesure, l'appareil peut enregistrer jusqu'à 3.900 mesures. Dans le cadre de mesure de température dans un local, il parait inutile de descendre en dessous d'un intervalle de 5 minutes (ce qui permet environ deux semaines de mesure) ;
- Critère d'arrêt : La mémoire de l'enregistreur étant limitée, il est nécessaire de définir un mode d'arrêt.
  - Soit *Mesure en boucle* : lorsque la mémoire est épuisée (3.900 mesures) la mesure suivante écrase la première mesure (3.901 remplace 1)
  - Soit *Mémoire totale* : la mesure s'arrêtera après 3.900 mesures
  - Soit *Nombre de blocs* : Il est alors possible de définir le nombre de mesures voulues.
- Titre et commentaire : Permet d'entrer le titre du programme de mesure et des commentaires sur celui-ci.

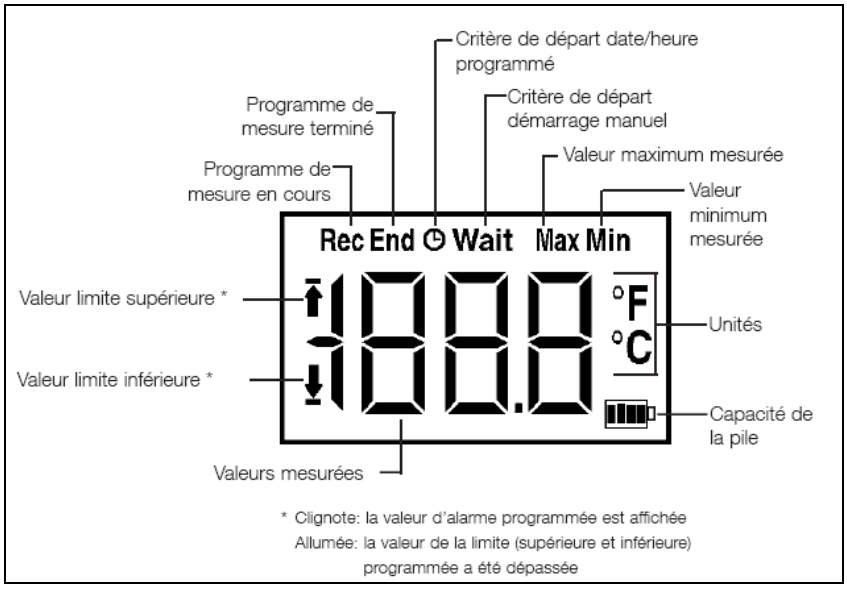
Une fois la configuration terminée, la mesure peut démarrer.

Enregistrement des données :

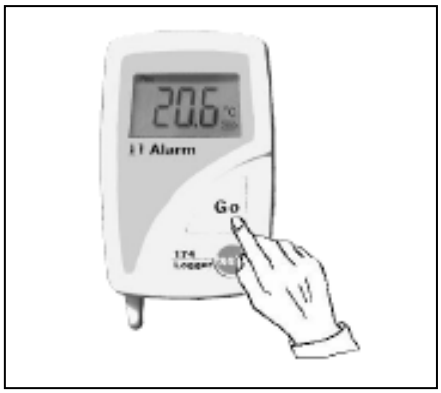
Le capteur est placé dans la zone à analyser. Il est important d'éviter des emplacements proches de source de chaleur (radiateurs,..) ou les zones exposées au rayonnement solaire, ce qui pourrait perturber les mesures.

Fonction d'affichage et de commande de l'enregistreur :

Un certain nombre d'informations sont reprises sur l'écran d'affichage de l'enregistreur.



Selon l'état de fonctionnement, diverses informations peuvent être visualisées sur l'afficheur.



- Etat de fonctionnement ***Wait*** et critère de départ ***par pression touche*** programmé:

  Pressez la touche *GO* pendant env. 3 sec. pour lancer le programme de mesure.
  - Le programme de mesure démarre et sur l'afficheur apparaît ***Rec***.

- Etat de fonctionnement **Wait** :

  Pressez la touche GO, afin de basculer entre les indications valeur limite supérieure, valeur limite inférieure, capacité de la pile et dernière valeur mesurée.
  - Les indications apparaissent sur l'afficheur dans l'ordre mentionné.

- Etat de fonctionnement **Rec** ou **End** :

  Pressez la touche GO, afin de basculer entre les indications valeur maximum mesurée, valeur minimum mesurée, valeur limite supérieure, valeur limite inférieure, capacité de la pile et dernière valeur mesurée.
  - Les indications apparaissent sur l'afficheur dans l'ordre mentionné.

Analyse des résultats :

Une fois la campagne de mesure terminée, il faut transférer les données enregistrées dans le logiciel de traitement.

Il est alors possible de visualiser les courbes d'évolution de température enregistrées par les capteurs.

3. APPAREIL DE MESURES ÉLECTRIQUES (WATTMÈTRE)

3.1. Notions de base

Le circuit le plus simple que l'on puisse représenter consiste en une source de tension U (pile, dynamo, ...) et un récepteur passif R (lampe, résistance chauffante, ...).

Une charge électrique s'écoule à travers la section du conducteur. L'intensité de ce courant s'exprime en ampères.

La source de tension fournit l'énergie nécessaire au maintien du courant. Cette tension se mesure en volts.

Si la tension U fournie par la source est constante, un courant constant I s'écoule : c'est un circuit à courant continu.

3.1.1. Analogie hydraulique

Pour comprendre certaines propriétés du courant électrique, il est intéressant de le comparer à de l'eau s'écoulant dans un circuit de tuyaux. Le générateur peut alors être vu comme une pompe chargée de mettre en pression ce liquide dans les tuyaux.

La différence de potentiel, ou tension, ressemble alors à la différence de pression entre deux points du circuit d'eau. Elle est notée U, et exprimée en volts (V).

L'intensité du courant électrique peut être rapprochée du débit d'eau dans le tuyau. Elle mesure le nombre de charges qui passent chaque seconde à un point du circuit ; elle est souvent notée I, et mesurée en ampères (A).

La résistance d'un circuit électrique serait alors analogue au diamètre des tuyaux. Plus les tuyaux sont petits, plus il faut de pression pour avoir le même débit. De façon analogue, plus la résistance d'un circuit est élevée, plus il faut une différence de potentiel élevée pour avoir la même intensité. La résistance électrique mesure donc la faculté de freiner plus ou moins le passage du courant. Elle est notée R et, elle est exprimée en Ohms (Ω).

On observe un courant d'eau dans une rivière.

C'est la différence d'altitude entre deux points du lit de la rivière :

$$G(a,b) = Z(a) - Z(b)$$

qui fait qu'un courant existe entre ces deux points. L'altitude Z est un potentiel gravitationnel (on connaît l'énergie potentielle liée à l'altitude).

D'où l'analogie entre la dénivellation géographique et la différence de potentiel électrique appelée également tension et notée U.

La différence de potentiel ou tension est une valeur algébrique (c'est-à-dire qu'elle peut être positive, négative ou nulle). On la représente sur les schémas électriques par une flèche allant d'un point B vers un point A lorsqu'on veut représenter le potentiel du point A par rapport à celui du point B.

$$U(a,b) = V(a) - V(b)$$

3.2. Paramètres mesurés

3.2.1. Courant électrique : A

Un courant électrique est un déplacement de charges électriques, généralement des électrons, au sein d'un matériau conducteur. Ces déplacements sont imposés par l'action de la force électromagnétique, dont l'interaction avec la matière est le fondement de l'électricité.

Par convention, dans un circuit électrique en boucle simple et en courant continu, le courant électrique sort du générateur par la borne positive (+), traverse le circuit électrique et revient au générateur par sa borne négative (-).

Le courant est caractérisé par sont intensité qui est mesurée en Ampère (A).

La propagation de l'influx électrique se fait à une vitesse voisine de celle de la lumière (aux effets capacitifs près), mais ce n'est pas pour autant la vitesse des électrons qui le constituent. Ceux-ci voyagent plus modestement à quelques millimètres ou centimètres par seconde, en fonction de l'intensité du courant et de la section du conducteur.

3.2.2. Tension électrique : V

La tension électrique est la circulation du champ électrique le long d'un circuit. Elle est souvent confondue avec la différence de potentiel électrique entre deux points d'un circuit électrique.

Le potentiel électrique est l'une des grandeurs définissant l'état électrique d'un point de l'espace. Son unité est le volt (V)

3.2.3. Puissance électrique : kW

Le kW (kilo-Watt) est une unité de puissance.

On dira d'une lampe qui développe une puissance lumineuse de 60 Watts, qu'elle est moins puissante qu'une lampe de 100 Watts.

En régime de tension et de courant continu, la puissance est égale au produit des valeurs du courant et de la tension. P = U x I avec P en Watt, U en Volts et I en Ampères. La puissance dissipée par une résistance (R) est égale à $P = R \times I^2$ avec P en Watt, R en Ohms et I en Ampères.

En régime de courant alternatif, la puissance moyenne consommée porte le nom de puissance active. Elle a pour expression : $P = U \times I \times \cos \varphi$ avec P en Watt, U en Volts, I en Ampères. Le cos φ est le facteur de puissance. C'est un paramètre qui rend compte de l'efficacité à consommer de la puissance. Une comparaison mécanique possible serait le *facteur d'embrayage* d'une boîte de vitesses :

- lorsque la pédale d'embrayage est enfoncée, le moteur tourne (le courant circule) mais ne transmet aucune puissance au véhicule. Le facteur de puissance est nul ;
- lorsque la pédale d'embrayage est relevée, le moteur tourne et toute sa quantité de mouvement est transmise au véhicule pour produire de la puissance motrice. Le facteur de puissance est unitaire ;
- lorsque l'on fait patiner l'embrayage, on est dans une situation intermédiaire. Cela correspond au cas où le facteur de puissance est compris entre 0 et 1.

3.2.4. Energie électrique : kWh

Le kWh (kilo-Watt-heure) est une unité de travail ou d'énergie.

On dira que la consommation d'une lampe de 60 W en 24 heures est de :

60 W x 24 h = 1.440 Wh = 1,44 kWh

On traduit là l'énergie consommée pendant un temps donné.

D'une manière générale,

Énergie = Travail = Consommation

Énergie = Puissance x Temps

De même,

Puissance = Énergie / Temps

3.3. Mode d'utilisation d'un appareil de mesure électrique

Applications :

Le wattmètre *Chacon* permet notamment les mesures suivantes :

- Mesure de l'énergie consommée d'un appareil électrique (kWh) ;
- Mesure de la durée de consommation ;
- Calcule du coût total de cette consommation (€) ;
- Affichage de la tension (V), du courant (A) et du courant maximum, de la puissance (W) et de la puissance maximum.

Par ailleurs, il peut servir également d'indicateur de surcharge sur un circuit.

Attention : Le courant maximum supporté par le Wattmètre est de 16 A en 230 V, soit une puissance maximum de 3.500 W.

Mode d'emploi du Wattmètre.

Pour commencer à employer le wattmètre, vérifiez que les piles soient disposées à l'intérieur de l'appareil. Celles-ci sont indispensables pour conserver les données une fois l'appareil débranché. Attention à la polarité des piles et à leur positionnement dans le réceptacle situé au dos de l'appareil (Cf. image des piles à l'intérieur du réceptacle) Veillez aussi à bien repositionner dans l'appareil le support recueillant les piles et notamment à bien enfiler les deux bornes métalliques dans les espaces prévus pour les recevoir. Si le placement des piles est réussi, l'écran de votre wattmètre se divisera en trois parties distinctes. Ensuite, reliez-le au réseau électrique en le branchant sur une prise de courant.

Si l'appareil est dépourvu de piles et que vous le reliez au réseau électrique, l'écran du wattmètre se divisera aussi en trois parties distinctes mais les données enregistrées ne seront pas conservées lorsque vous débrancherez l'appareil.

Vous pouvez alors brancher au wattmètre l'appareil dont vous voulez mesurer la consommation. La mesure commence instantanément.

Si vous arrêtez la mesure en débranchant l'appareil du wattmètre ou le wattmètre du réseau et si vous voulez entamer une nouvelle campagne de mesures pour un autre appareil, vous devez d'abord enlever les piles pour remettre la mémoire à zéro, les replacer ensuite avant de raccorder à nouveau le wattmètre au réseau électrique. A défaut, les nouvelles données d'enregistrement viendront s'ajouter aux données déjà enregistrées.

L'écran est divisé en trois parties distinctes, à savoir :

- Une partie supérieure qui, par certaines manipulations expliquées par la suite, peut afficher le voltage, l'intensité du courant, l'intensité maximale du courant à un moment précis, la puissance (W), la puissance (W max) ainsi que les éventuelles surcharges.
- Une partie centrale qui peut afficher la consommation d'énergie en KWh, le coût total de la consommation, et qui permet également l'insertion du prix du KWh.
- Une partie inférieure qui affiche la durée d'utilisation de l'appareil.

Pour les différentes manipulations, différents boutons s'offrent à vous :

- un bouton avec une flèche pointée vers le haut
- un bouton avec une flèche pointée vers le bas
- un bouton avec l'indication Overload
- un bouton avec l'indication Price

➢ **Partie supérieure de l'écran**

La partie supérieure de l'écran permet d'afficher plusieurs mesures. Pour faire défiler ces mesures, appuyez sur le bouton avec la flèche pointée vers le haut :

- La première mesure qui apparaît sur l'écran, dès le branchement de l'appareil, est la tension en Volt (V).
- La deuxième mesure qui apparaît est l'intensité du courant. Celle-ci est mesurée en ampères (I).
- La troisième mesure est l'intensité maximale mesurée durant le temps d'utilisation de l'appareil (I max).
- En quatrième lieu apparaît la puissance. Cette puissance est mesurée en Watt (W).
- Suis ensuite la puissance maximale mesurée lors de la durée d'utilisation. Celle-ci est mesurée également en Watt (W max)
- Pour finir, l'écran affichera le mode surcharge. Celui, après quelques réglages, vous permettra de savoir si votre ligne de courant a été ou est surchargée à un moment.

- Mode surcharge

Afin de permettre à l'appareil de calculer les surcharges possibles sur votre ligne, plusieurs réglages sont nécessaires.

- Affichez, dans un premier temps, le mode surcharge sur la partie supérieure grâce au bouton avec la flèche pointée vers le haut.
- Une fois en mode affichage, appuyez sur le bouton avec l'indication Overload (=Surcharge).
- A cet instant-ci, vous avez le choix entre une mesure en ampère ou une mesure en watt. Appuyer sur les boutons avec les flèches afin d'arriver à la mesure souhaitée.
- Ensuite, appuyez à nouveau sur le bouton Overload. A ce moment-là, 4 "digit" "0" apparaissent. Le premier "0" clignote. Utilisez les boutons munis des flèches afin de donner la bonne valeur à ce "digit". Une fois la bonne valeur inscrite, appuyez à nouveau sur Overload afin de régler le deuxième "digit", et ainsi de suite. La valeur qui doit apparaître à la fin de ce réglage est la valeur maximale (en watt ou en ampère) qui ne peut être dépassée sur la ligne pour ne pas risquer une surcharge (Cf. point 3.2.3. Puissance électrique : kW). Attention pour la valeur maximale en ampère, il y a deux digits avant la virgule et deux digits après la virgule (150 milliampères = 00,15).
- A la fin des réglages, terminez par appuyer sur le bouton Overload. A partir de ce moment, l'appareil indiquera le mot Overload à partir du moment où la valeur indiquée sera dépassée.

- **La partie centrale de l'écran**

La partie centrale de l'écran permet, tout comme la partie supérieure, d'afficher plusieurs mesures. Pour faire défiler celles-ci, appuyez sur le bouton avec la flèche pointée vers le bas.

- La première mesure qui apparaît dès le branchement de l'appareil est le nombre de KWh consommé pendant la durée d'utilisation.
- Le second affichage est le prix/KWh. Ce prix doit être introduit par l'utilisateur. Afin, d'entrer le prix dans l'appareil, appuyez, *une fois dans le mode prix/KWh*, sur le bouton avec l'inscription Price. A ce moment là, apparaissent 6 "digits" "0" et le premier clignote. Trois digits avant la virgule et trois après la virgule (19 c€ = 000,190). Réglez le premier "digit" avec l'aide des boutons avec les flèches. Ensuite ré-appuyez sur le bouton Price et faites de même pour les 5 autres "digits". Une fois le bon prix indiqué, finissez en appuyant à nouveau sur le bouton Price. A partir de ce moment, l'appareil peut calculer le coût total de l'énergie utilisée pendant la période d'utilisation.
- La troisième mesure qui apparaît sur l'écran est le coût total de l'énergie utilisée pendant la période d'utilisation.

- **La partie inférieure de l'écran**

La partie inférieure de l'écran ne peut afficher qu'une seule mesure : la durée d'utilisation de l'appareil (Heures/Minutes/Secondes). Ici, aucun réglage n'est nécessaire.

- Lorsque la durée atteint 99:59:59, le format bascule en format Heures/Minutes
- La durée maximum est de 9999:59 (1.000 heures)
- Le comptage se fait en Secondes lorsque le total est inférieur à 100 heures sinon le comptage se fait en minutes.

4. LE LUXMÈTRE

4.1. Notions de bases

4.1.1. La lumière

4.1.1.1. Grandeurs photométriques

- **Flux lumineux (Grandeur liée à la source de lumière)**

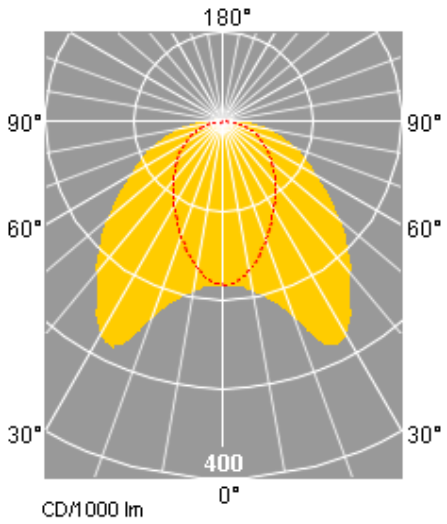
C'est la puissance lumineuse émise par une lampe, exprimée en lumens (lm).

Il permet de comparer l'efficacité lumineuse des différentes lampes, exprimée en lumens émis par watt de puissance électrique consommée (lm/W).

- **Intensité lumineuse (Grandeur liée à la source de lumière)**

C'est la quantité de flux lumineux émise dans une direction particulière, exprimée en candelas (cd).

Elle permet de caractériser les luminaires en indiquant sur un graphe leur intensité lumineuse dans les différentes directions (pour une source lumineuse de 1 000 lm).



- **Luminance (Grandeur liée à la surface éclairée)**

C'est la "brillance" d'une surface éclairée ou d'une source lumineuse telle que perçue par l'œil humain, exprimée en candelas par m² (cd/m²).

Elle décrit l'effet de la lumière sur l'œil.

- **Éclairement (Grandeur liée à la surface éclairée)**

C'est la quantité de flux lumineux éclairant une surface, exprimée en lumen par m² ou lux.

La grandeur la plus représentative de la qualité de l'éclairage est la luminance. C'est en effet la lumière réfléchie que perçoit l'œil humain. Cependant celle-ci étant difficilement mesurable, ce sera l'éclairement, représentant la lumière incidente, qui sera dans la pratique considéré.

4.1.1.2. Indice de rendu des couleurs et température de couleur

L'ambiance lumineuse ressentie par les occupants dépend de deux paramètres indépendants :

- L'indice de rendu des couleurs (IRC ou Ra) : c'est la capacité d'une lampe à restituer correctement les couleurs présentes dans l'environnement (parois du local, objets, personnes, affiches, ...). L'IRC est compris entre 0 et 100, 100 étant l'IRC de la lumière naturelle qui restitue toutes les nuances de couleur et 0 étant l'absence de couleur reconnaissable. Une différence de 5 points sera perceptible pour l'œil humain.

Sous l'éclairage naturel
Ra = 100.

Sous une lampe à vapeur de sodium
Ra = 25.

Plage d'IRC	Perception des couleurs
Ra < 25	faible
25 < Ra < 65	moyenne
65 < Ra < 90	bonne
90 < Ra	élevée

On définit des classes d'IRC en fonction de la plage d'IRC :

Classe d'IRC	IRC
1A	Ra > 90
1B	90 > IRC > 80
2	80 > IRC > 60
3	60 > IRC > 40

- La température de couleur (exprimée en Kelvins (K)) : cela représente la couleur de la lumière émise par une lampe. On parlera généralement de teinte chaude (température de couleur < 3 000 K) ou froide (température de couleur > 3 000 K). La couleur apparente de la source a des effets psychologiques agréables ou désagréables mais n'influence nullement les performances visuelles.

Éclairement de 300 lux
couleur chaude.

Éclairement de 300 lux
couleur froide.

4.1.2. Le confort visuel.

L'objectif de l'éclairage est d'assurer un confort visuel. Ce qui signifie qu'il doit assurer :

- la visibilité des objets et des obstacles,
- la bonne exécution des tâches sans fatigue visuelle exagérée,
- une ambiance lumineuse agréable.

Un environnement visuel confortable (donc favorable au travail !) est défini par différents paramètres :

- **Un niveau d'éclairement suffisant**
- **Une répartition harmonieuse de la lumière**
- **L'absence d'éblouissement**
- **L'absence d'ombre gênante**
- **Un rendu de couleur correct**
- **Une teinte de lumière agréable**
- **Un apport d'éclairage naturel**

a. Le niveau d'éclairement

Le niveau d'éclairement caractérise la quantité de lumière. Il s'exprime en lux (lx).

Le niveau d'éclairement va influencer :

- **Visibilité des objets :** Au travail, une bonne visibilité de la tâche visuelle et de son environnement est particulièrement nécessaire et fortement influencée par les caractéristiques de l'éclairage. Des objets qui peuvent être reconnus facilement et dont on peut distinguer aisément des détails, peuvent devenir indistincts et même plus du tout perceptibles lorsqu'il fait plus sombre.
- **Performance visuelle** : La performance visuelle est un taux d'évaluation du système visuel utilisé pour quantifier les aptitudes d'une personne à détecter, identifier et analyser les détails entrant dans son champ de vision, en se fondant sur la vitesse, la précision et la qualité de sa perception. La performance visuelle dépend entre autres :
    - des caractéristiques propres de la tâche à accomplir,
    - de l'acuité visuelle de l'observateur,
    - de la nature de l'arrière plan,
    - des conditions d'éclairage,
    - des perturbations distrayant l'attention,
    - ...

La visibilité de la tâche est utilisée pour relier la performance visuelle aux paramètres de l'éclairage sans tenir compte de l'attitude de l'observateur à l'égard de la tâche.

La visibilité qui caractérise une tâche est déterminée par la visibilité du **détail critique.** D'une manière générale, la visibilité du détail dépend de :

- sa dimension angulaire et sa forme,
- sa luminance et sa couleur,
- son contraste par rapport au fond immédiat,
- sa position dans le panorama visuel,
- la luminance d'adaptation,
- l'état du système visuel (âge de l'observateur),
- le temps d'observation,
- ...

Sous un éclairement de 500 lux.

Sous un éclairement de 50 lux.

Lorsque le niveau d'éclairement diminue, un texte écrit suffisamment grand restera parfaitement lisible, alors qu'un texte écrit petit deviendra plus difficile à lire.

Impact sur les travailleurs

"Malheureusement", l'œil humain s'adapte très rapidement aux différentes ambiances lumineuses qu'il rencontre. Il est donc difficile de percevoir qu'une ambiance lumineuse n'est pas correcte. En situation d'équilibre, on parle de niveau d'adaptation auquel correspond la **luminance d'adaptation** qui affecte :

- l'acuité visuelle,
- la sensibilité aux contrastes.

b. La répartition lumineuse

Si le niveau d'éclairement et la luminance varient dans le champ visuel, une adaptation de l'œil est nécessaire lorsque le regard se déplace. Durant ce moment, l'acuité visuelle est diminuée, entraînant des fatigues inutiles.

La répartition lumineuse ou l'uniformité des niveaux d'éclairement caractérise les variations du niveau d'éclairement et est définie comme étant le rapport entre l'éclairement minimum et l'éclairement moyen observé dans la zone de travail.

Éclairement minimum / Éclairement moyen

On définit différentes zones :

- la **zone de travail** où la tâche visuelle est exécutée. Cette zone peut être représentée par la surface d'un bureau à une hauteur de 0,7 mètre, d'un livre tenu dans les mains d'un patient alité en position normale, le sol d'un terrain de sport, la surface d'un tableau de classe vertical, ... Dans cette zone, l'Uniformité doit être supérieure ou égale à **0,7.**
- la **zone environnante immédiate** comme une bande de 0,5 mètre autour de la zone de travail. Dans cette zone, l'Uniformité doit être supérieure ou égale à **0,5**.

En ce qui concerne l'uniformité de la luminance (= "brillance" d'une surface éclairée ou d'une source lumineuse telle que perçue par l'œil humain, exprimée en candelas par m² (cd/m²), elle décrit l'effet de la lumière sur l'œil. C'est donc beaucoup plus compliqué ! En effet, la distribution de la lumière dans un espace dépend de la répartition des sources lumineuses et de la réflexion des parois (= quantité d'énergie lumineuse réfléchie par cette surface par rapport à celle reçue par celle-ci. Elle est fonction des matériaux et des couleurs). Elle est d'autant meilleure que les réflexions de chaque paroi sont élevées et uniformément réparties (couleurs uniformes).

De plus, il faut une certaine uniformité de luminance d'une part, entre le champ visuel en position de travail (le plan de travail) et au repos (les murs), d'autre part, entre les différentes surfaces de référence (éclairement de la zone de travail et de la zone voisine).

Pour un même niveau d'éclairement au niveau du plan de travail, la première situation est nettement plus agréable que la troisième.

Pour garantir une répartition harmonieuse des luminances, il convient de ne pas dépasser certaines valeurs de contraste entre les différentes zones du champ visuel ou les surfaces de référence. Les valeurs maximales recommandées pour les rapports de luminances sont les suivantes :

- arrière-fond de la tâche visuelle/entourage, 3/1,
- arrière-fond de la tâche visuelle/champ visuel (180°), 10/1,
- sources lumineuses/surfaces contiguës, 20/1,
- pour l'ensemble de l'espace intérieur, 40/1.

Cependant, pour structurer l'espace, il peut être intéressant de créer des ambiances lumineuses localisées. Dans ce dernier cas, un niveau d'éclairement général existe pour tout l'espace et un éclairage localisé complémentaire est prévu en fonction des besoins spécifiques de la tâche visuelle.

c. L'éblouissement

L'éblouissement est dû à la présence, dans le champ de vision, de luminances excessives (sources lumineuses intenses) ou de contrastes de luminance excessifs dans l'espace ou dans le temps.

Suivant l'origine de l'éblouissement, on peut distinguer :

L'éblouissement direct *produit par un objet lumineux (lampe, fenêtre, ...) situé dans la même direction que l'objet regardé ou dans une direction voisine.*

L'éblouissement par réflexion *produit par des réflexions d'objets lumineux sur des surfaces brillantes (écrans d'ordinateur, plan de travail, tableau ...).*

En éblouissement direct, on peut donc distinguer 2 types d'éblouissement :

- D'une part, *"l'éblouissement d'inconfort*" résulte de la vue en permanence de sources lumineuses de luminances relativement élevées. Cet éblouissement peut créer de l'inconfort sans pour autant empêcher la vue de certains objets ou détails.
- D'autre part, "*l'éblouissement invalidant*" est provoqué par la vue d'une luminance très élevée pendant un temps très court. Celui-ci peut, juste après l'éblouissement, empêcher la vision de certains objets sans pour autant créer de l'inconfort.

Le premier type d'éblouissement se rencontrera dans des locaux où l'axe du regard est toujours relativement proche de l'horizontale. C'est le cas dans les classes ou bureaux par exemple. Le deuxième cas se présente dans les salles de sport, par exemple, car l'axe de vision d'un sportif est constamment changeant et que celui-ci regarde vers le haut pour suivre les balles en hauteur.

L'éblouissement d'inconfort provenant directement des luminaires doit être quantifié en utilisant la méthode tabulaire d'évaluation du taux d'éblouissement unifié UGR de la CIE.

Sans rentrer dans les détails, le facteur UGR donne une idée de l'éblouissement d'inconfort dans le champ visuel de l'observateur par rapport à la luminance de fond (éblouissement provoqué par l'association de plusieurs luminaires dans un environnement considéré). Ce facteur UGR varie de 10 à 30. Plus la valeur du facteur est élevé, plus la probabilité d'éblouissement d'inconfort est important.

Des valeurs de référence définissent des classes de qualité :

28	Zone de circulation
25	Salle d'archives, escaliers, ascenseur
22	Espace d'accueil
19	Activités normales de bureau
16	Dessins techniques, postes de travail CAD

Les facteurs suivants jouent un rôle important dans la détermination de la valeur UGR :

- la forme et les dimensions du local,
- la clarté de la surface (luminance) des parois, des plafonds, des sols et des autres surfaces étendues,
- le type de luminaire et de protection,
- la luminance de la lampe,
- la répartition des luminaires dans le local,
- la ou les positions de l'observateur.

Certains fabricants proposent des tableaux simplifiés de détermination des valeurs UGR mais limités à des locaux simples pour une seule famille de luminaires donnée.

En éclairage naturel

En éclairage naturel, l'éblouissement peut être provoqué par la vue directe du soleil, par une luminance excessive du ciel vu par les fenêtres, ou par des parois réfléchissant trop fortement le rayonnement solaire et provoquant des contrastes trop élevés par rapport aux surfaces voisines. Il est intéressant de noter qu'une plus grande ouverture à la lumière naturelle cause moins d'éblouissement qu'une petite car elle augmente le niveau d'adaptation des yeux et diminue le contraste de luminance.

En éclairage artificiel

En éclairage artificiel, l'éblouissement peut être provoqué par la vue directe d'une lampe ou par sa réflexion sur les parois polies des luminaires, sur les surfaces du local ou sur des objets.

L'éblouissement direct provoqué par un luminaire est d'autant plus fort pour une position donnée de l'observateur que :

- la luminance du luminaire est élevée
- le fond sur lequel elle se détache est sombre
- l'angle compris entre la direction considérée et la verticale est important. Pratiquement, en dessous de 45° par rapport à la verticale, l'éblouissement devient négligeable
- le nombre de luminaires dans le champ visuel est important.

La position des luminaires et la répartition de la lumière qu'ils émettent sont donc fondamentales. D'autant que le degré de tolérance à l'éblouissement venant d'un luminaire (source lumineuse de petite taille) est plus faible que celui venant d'une fenêtre (source lumineuse de grande taille).

d. Les ombres

En fonction de sa direction, la lumière peut provoquer l'apparition d'ombres marquées qui risquent de perturber le travail effectué.

Lorsque la lumière provient du côté droit pour les droitiers et du côté gauche pour les gauchers.

Lorsque la lumière est dirigée dans le dos des occupants.

A l'inverse, une lumière non directionnelle, telle qu'on peut la créer avec un éclairage artificiel purement indirect, rendra difficile la perception des reliefs et peut rendre, par exemple, les visages désagréables à regarder.

Avec un éclairage directionnel.

Avec un éclairage diffus.

Une pénétration latérale de la lumière naturelle satisfait généralement à la perception tridimensionnelle du relief des objets et de leur couleur, grâce à sa directionnalité et à sa composition spectrale. Le cas est idéal mais le niveau d'éclairement diminue dès qu'on s'éloigne des fenêtres.

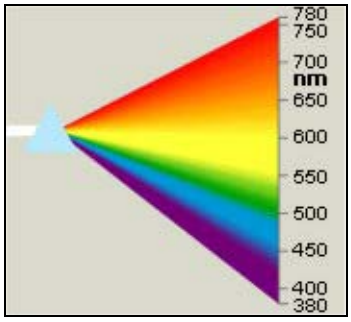
Composition correcte des ombres permettant une bonne perception des détails : combinaison d'éclairage direct et diffus.

Absence d'ombre effaçant tout relief : éclairage diffus.

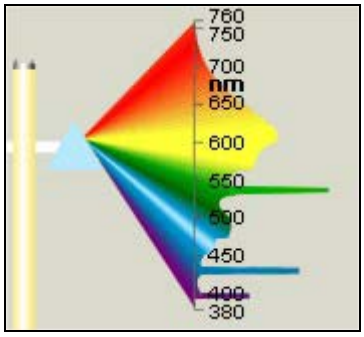
Ombres dures pouvant modifier l'aspect des objets et donc représenter une source de danger : éclairage directionnel.

e. Le rendu de couleur

Toute source lumineuse, qu'elle soit naturelle ou artificielle présente un spectre lumineux qui lui est particulier.



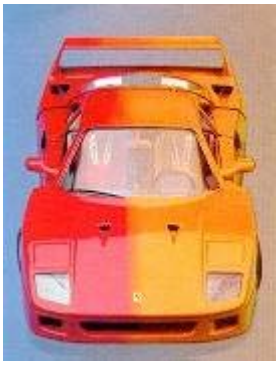
La lumière naturelle, provenant du rayonnement du soleil et du ciel, présente un spectre visible (rayonnement dont la longueur d'onde est comprise entre 380 et 760 nanomètres (nm)) de forme continue. Le mélange des diverses radiations qui constituent ce spectre forme, par définition, la lumière dite blanche : c'est la seule qui permette à l'œil d'apprécier avec la plus grande exactitude la couleur des objets et les plus délicates de leurs nuances. Les différentes radiations colorées composant la lumière naturelle apparaissent aisément lors de leur réfraction et réflexion par des gouttes d'eau, comme dans l'arc-en-ciel.



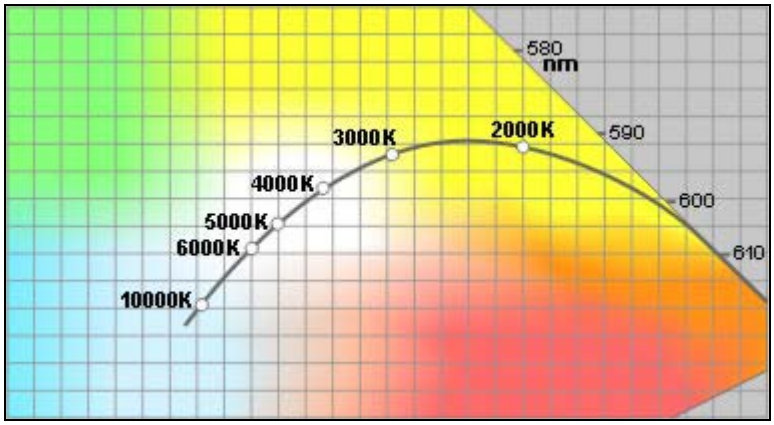
Étant donné que l'œil est conçu pour la lumière du jour, la lumière émise par les sources artificielles devrait avoir la même composition spectrale que celle du soleil et du ciel. C'est le seul moyen pour que ne soit pas altérée la vision des couleurs. En effet, un corps coloré réfléchit sélectivement les radiations colorées qu'il reçoit. Le système visuel regroupe les différentes radiations réfléchies et donne une sensation de couleur. La couleur perçue est donc intimement dépendante du spectre lumineux émis.

A cet égard, les lampes à incandescence ou à fluorescence de type courant ne donnent pas entièrement satisfaction quoique de grands progrès ne cessent d'être

accomplis dans ce sens. Par exemple, dans une cafétéria éclairée par des lampes fluorescentes de type courant, on constate le changement apparent de couleur des vêtements, plus spécialement si ceux-ci sont dans les tons rouges ou oranges à la lumière du jour.

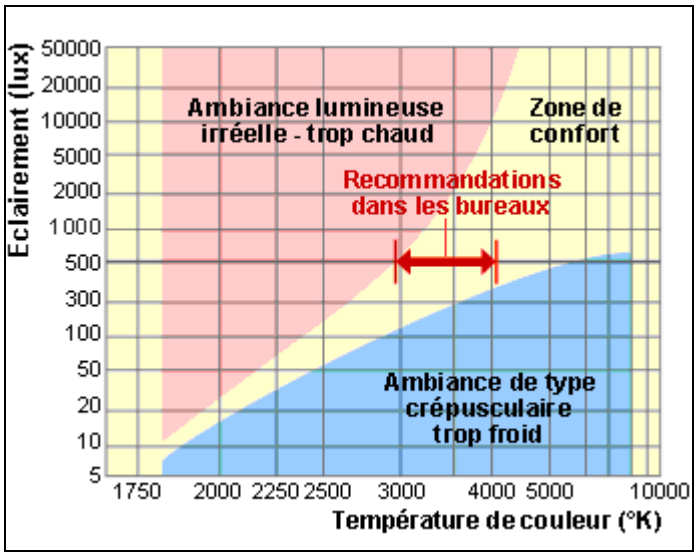
Sous une lampe incandescente (IRC ou Ra = 100).		*Sous une lampe au sodium haute pression (IRC ou Ra = 25).*

f. La teinte de la lumière



La couleur de la lumière artificielle a une action directe sur la sensation de confort de l'ambiance lumineuse d'un espace.

Une lumière de couleur "chaude" est composée majoritairement de radiations rouges et oranges. C'est le cas des lampes à incandescence normales. Les tubes fluorescents standards génèrent une lumière "froide" composée principalement de radiations violettes et bleues. Le tableau ci-dessous illustre la variation de la sensation de confort de l'ambiance lumineuse d'un local en fonction du niveau d'éclairement qui lui est fourni.



De plus, les couleurs chaudes (rouge, orange) des objets sont plus agréables lorsqu'elles sont éclairées par une lumière chaude plutôt que par une lumière froide, mais par contre la lumière chaude tend à noircir les couleurs froides (bleu, violet). Ceci se manifeste particulièrement bien dans l'éclairage à incandescence classique.

Éclairement de 300 lux
Lumière chaude

Éclairement de 300 lux
Lumière froide.

Les radiations colorées émises par les objets et l'environnement peuvent aussi produire certains effets psycho-physiologiques sur le système nerveux. C'est ainsi que les couleurs de grandes longueurs d'onde (rouge, orange) ont un effet stimulant tandis que celles de courtes longueurs d'onde (bleu, violet) ont un effet calmant. Les couleurs intermédiaires (jaune, vert) ont, de même que le blanc, un effet tonique et favorable à la concentration. Les couleurs foncées et le gris ont par contre une action déprimante. Enfin les couleurs peuvent contribuer dans une large mesure à modifier la dimension apparente des surfaces et des volumes. Les couleurs chaudes seront de préférence utilisées dans des locaux de dimensions exagérées tandis que les couleurs froides seront choisies pour les locaux de dimensions réduites.

g. L'apport d'éclairage naturel

Si l'éclairage artificiel fournit la lumière à la demande, à l'endroit désiré et en quantité voulue, il ne peut cependant pas apporter le même agrément que celui offert par la lumière naturelle. Celle-ci procure un rendement visuel accru et est plus confortable pour des niveaux d'éclairement inférieurs à ceux apportés artificiellement tout en permettant des économies d'énergie électrique.

Sa variabilité, qui peut être considérée comme un désavantage en éclairage artificiel, permet d'établir une harmonie avec le monde extérieur et crée une ambiance intérieure plus chaleureuse. Son caractère cyclique est un facteur important pour l'équilibre psychique. De plus, les fenêtres par lesquelles elle pénètre permettent une

communication visuelle avec l'extérieur et une vue au loin nécessaire au repos de l'œil après une vision rapprochée. L'éclairage artificiel doit donc être considéré comme le complément - occasionnel ou permanent - de l'éclairage naturel et s'accorder autant que possible à son spectre lumineux de même qu'à ses variations grâce à un système de contrôle adéquat tant pour l'éclairage général que pour l'éclairage localisé.

Les valeurs recommandées pour le facteur de lumière du jour au fond des locaux sont au minimum les suivantes :

- usine 5 %
- bureau 2 %
- salle de cours 2 %
- salle d'hôpital 1 %

Par exemple, pour un éclairement extérieur par ciel couvert de 5000 lux, le niveau d'éclairement intérieur reçu au fond des bureaux doit être de 100 lux minimum.

4.1.3. L'éclairage.

4.1.3.1. Type de systèmes d'éclairage

Éclairage direct

La lumière est projetée directement du luminaire vers la surface de travail.

Avantages

La lumière n'est pas réfléchie avant d'atteindre la tâche à éclairer. Le rendement est donc meilleur que celui d'un système comprenant une partie indirecte.

Inconvénients

Il existe un risque d'éblouissement et de contraste entre des zones sombres (par exemple le plafond) et des zones lumineuses. Dans le but de réduire l'éblouissement direct, on placera, par exemple, des ventelles de défilement.

Éclairage indirect

Une surface, le plafond ou les murs, est utilisée comme réflecteur pour diffuser la lumière.

Avantages

La diffusion de la lumière par le plafond et une répartition uniforme des luminances offrent une bonne protection contre l'éblouissement.

Inconvénients

Vu que la lumière est réfléchie avant d'atteindre la tâche à éclairer, ce mode d'éclairage a un moins bon rendement et demande, à niveau d'éclairement égal, une puissance installée supérieure à celle du système direct.

L'éclairement dépend fortement des coefficients de réflexion des parois sur lesquelles la lumière est réfléchie.

Il faut donc porter une attention toute particulière à l'entretien des surfaces du local afin que le rendement ne diminue pas au cours du temps.

Ainsi, lors d'un remplacement de luminaires, un rafraîchissement du plafond peut être nécessaire.

De plus les luminaires indirects sont, par leur disposition, fortement soumis aux poussières et autres saletés (insectes morts, ...). Cet inconvénient devient délicat lorsqu'une partie translucide permet une diffusion de lumière vers le bas et que les insectes viennent s'y accumuler (cas des luminaires "lumière douce").

Ce type d'éclairage ne produit pas d'ombre. Il peut donc être monotone et rendre difficile la perception d'objets tridimensionnels.

Enfin, il faut veiller à ne pas utiliser des sources trop lumineuses qui rendent le plafond éblouissant.

Éclairage mixte

Ce mode d'éclairage combine l'éclairage direct et l'éclairage indirect. La partie indirecte reste toutefois dominante.

Avantages

Les avantages de ce mode d'éclairage sont identiques à ceux de l'éclairage indirect : répartition uniforme et absence d'éblouissement. De plus, la partie directe crée des ombres avantageuses et permet de réduire la luminance du plafond.

Les différences de luminance dans la pièce sont nettement moins marquées que dans le cas d'un éclairage direct.

Il est avantageux dans des pièces à plafond haut et évite la perception d'une zone sombre au plafond.

Dans le cas de parois très claires, ce système présente de bons rendements.

Inconvénients

L'inconvénient principal est identique à celui du système d'éclairage indirect : rendement très sensible aux coefficients de réflexion des parois. Il est cependant moins marqué puisqu'une partie de l'éclairage est dirigé directement vers le plan de travail.

Il existe des luminaires dont une même source produit l'éclairage indirect et direct. D'autres ont deux sources distinctes avec commandes séparées.

Luminaire direct-indirect.

Ouverture sur la partie supérieure pour l'éclairage indirect.

Éclairage à deux composantes

Une première composante assure un éclairage général direct ou indirect de faible éclairement (environ 300 lux sur le plan de travail); une deuxième composante assure l'appoint directement sur la place de travail.

Avantages

Ce système est énergétiquement le plus intéressant : il associe un faible niveau d'éclairement général et des luminaires ponctuels, en fonction des besoins.

Inconvénients

L'inconvénient de l'éclairage ponctuel est qu'il peut générer des contrastes, des ombres marquées ainsi que des réflexions gênantes. Ceci dit, le fait de garder un rapport de 1,5 entre le niveau d'éclairement de **500 lux**, par exemple, avec une uniformité de **0,7** dans la zone de travail et le niveau d'éclairement de **300 lux** avec

une uniformité de 0,5 dans la zone environnante immédiate permet de limiter les effets néfastes des contrastes.

4.1.3.2. Les lampes

Définitions :

- **L'efficacité lumineuse des lampes**

  On évalue la qualité énergétique d'une lampe par son efficacité lumineuse (en lm/W) définie comme le rapport du flux lumineux (en lumen) par la puissance électrique absorbée (en watt).

  A partir des catalogues de fournisseurs, il est possible de connaître exactement l'efficacité lumineuse d'une lampe.

  Attention : l'efficacité lumineuse est fonction de la température ambiante autour de la lampe en situation stable. Une lampe fluorescente T8 (26 mm de diamètre) a une efficacité lumineuse maximale à 25°C de température ambiante tandis que la lampe fluorescente T5 (16 mm de diamètre) atteint, quant à elle, sa valeur optimale à 35°C. Pour autant que l'on s'écarte des températures idéales, les valeurs des flux lumineux chutent très vite.

- **Durée de vie d'une lampe**

  Définitions

  La durée de vie moyenne d'un lot de lampes est le nombre d'heures pendant lesquelles ces lampes ont fonctionné jusqu'au moment où 50 % d'entre elles ne fonctionnent plus.

  La durée de vie utile d'un lot de lampes est le nombre d'heures après lequel elles n'émettent plus que 80 % du flux lumineux d'origine.
  La perte de 20 % du flux lumineux provient d'une part de la diminution progressive du flux des lampes et d'autre part de l'arrêt de fonctionnement d'un certain nombre de lampes.

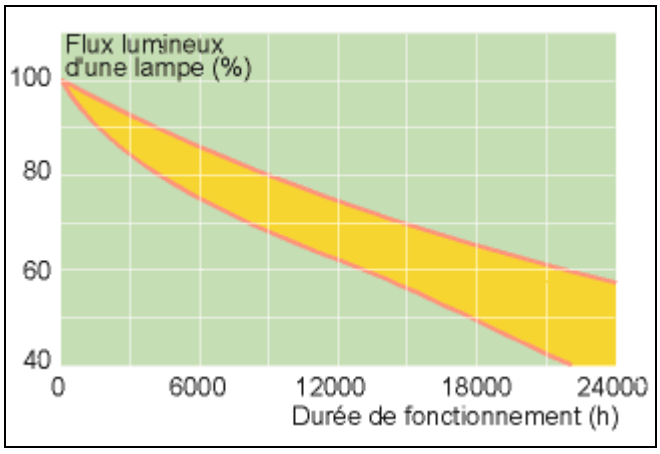
  Elle correspond également à **la durée de service**, c'est-à-dire la durée après laquelle les lampes doivent être remplacées.

  Courbes de durée de vie

  1. Chute du flux lumineux

  Le flux lumineux d'une lampe diminue progressivement.

  Le schéma ci-dessous montre la chute du flux lumineux de différents lots de lampes aux iodures métalliques d'un fabricant donné.

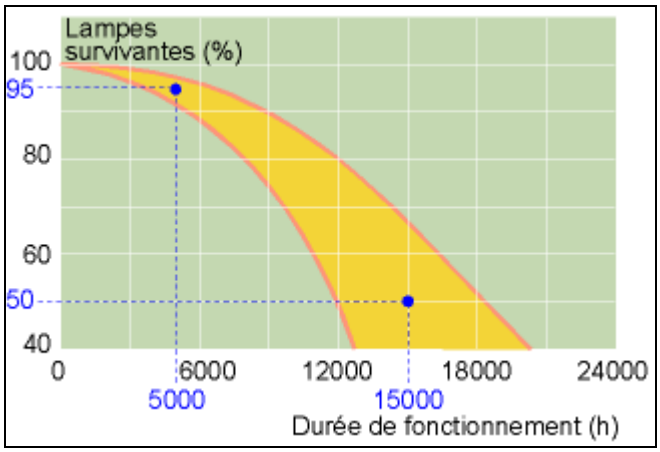


2. Durée de vie moyenne

Après un certain temps, une lampe s'arrête de fonctionner.

Dans un lot de lampes, celles-ci ne s'arrêtent pas toutes en même temps. Au début, quelques lampes s'arrêtent de fonctionner. Ensuite, les lampes restantes s'arrêtent les une après les autres.

Le schéma ci-dessous indique l'évolution du pourcentage de lampes survivantes pour différents lots de lampes aux iodures métalliques d'un fabricant donné.

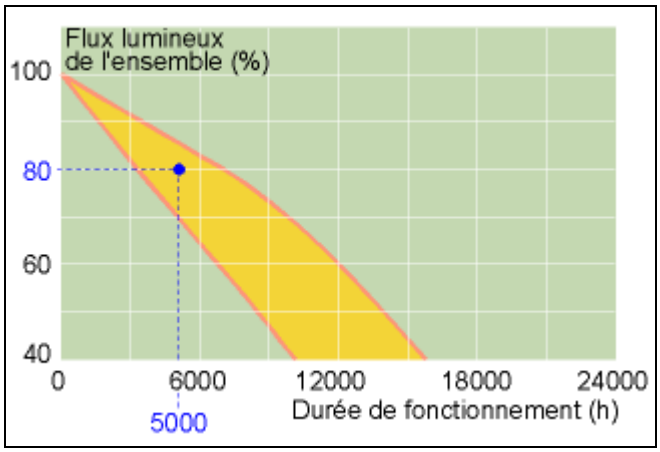


La **durée de vie moyenne** est l'abscisse correspondant à 50 % de lampes "survivantes".

3. Durée de vie utile

Si l'on multiplie, pour chaque heure de fonctionnement, le "pourcentage du flux lumineux d'une lampe" par le "pourcentage de lampes survivantes", on obtient le "flux lumineux restant de l'ensemble de l'installation".

Le schéma ci-dessous indique l'évolution du flux lumineux de l'ensemble des lampes aux iodures métalliques de différents lots d'un fabricant donné.



La durée de vie utile est l'abscisse correspondant à un flux lumineux restant de 80 %.

La durée de vie utile de la lampe associée au graphe ci-dessus est de 5 000 heures.

Si l'on regarde sur le graphe donnant la durée de vie moyenne, on voit que cela correspond à un arrêt de fonctionnement d'environ 5 % des lampes du lot. Cette correspondance permet de savoir, en pratique, quand la fin de la durée de vie utile (la durée de service) est atteinte : lorsque 5 % des lampes ne fonctionnent plus il est temps de procéder au remplacement de toutes les lampes.

Ces courbes sont données par les fabricants pour chaque type de lampes.

Remarque.

Les durées de vie des lampes reprises dans cet outil informatique sont les durées de vie utiles. Dans leur catalogue, les fabricants utilisent soit les durées de vie moyennes, soit les durées de vie utiles (inférieures aux durées de vie moyenne). Quelle que soit la définition utilisée, il faut être conscient que ces données sont déterminées dans des conditions particulières souvent différentes des conditions réelles de fonctionnement (par exemple : cycles d'allumage/extinction différents). Elles sont donc indicatives et ne peuvent être considérées comme absolues.

Attention : certains fabricants (principalement américains) utilisent une autre définition de la durée de vie d'une lampe : c'est la durée mesurée jusqu'à la mise hors service de la lampe. Ainsi, les lampes américaines sembleront avoir une durée de vie 2 à 3 fois plus élevée que celle des lampes européennes. Ce n'est évidemment pas le cas en réalité.

Types de lampes :

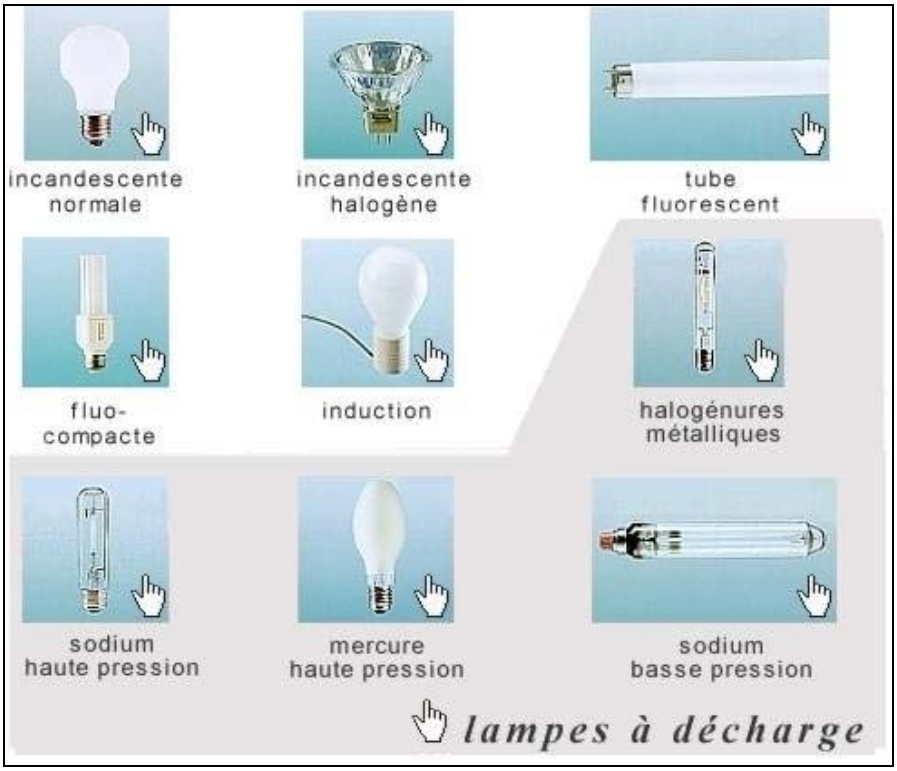
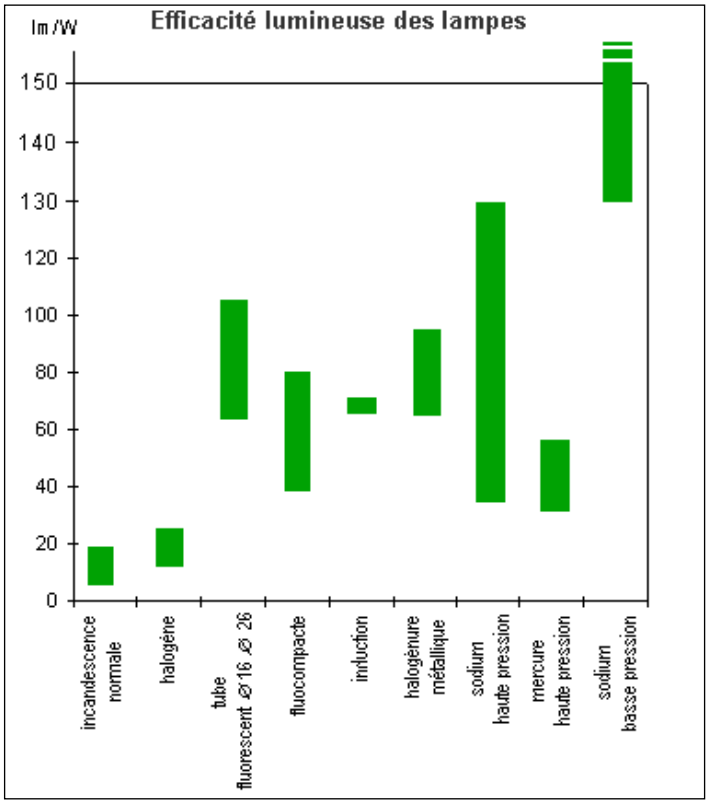


Tableau récapitulatif des principales caractéristiques

Types de lampe	Puissances (W)	Flux lumineux (lm)	Efficacité lumineuse (sans ballast) (lm/W)	IRC	T°de couleur (K)	Durée de vie utile (h)	Durée de vie moyenne (h)	Prix brut (HTVA) (c€/lm)
Incandescente normale	25 à 500	220 à 8 400	9 à 17	100	2 700		1 000	0,225 à 0,075
Incandescente halogène (tension du réseau)	40 à 2 000	500 à 50 000	13 à 25	100	3 000		2 000	1 à 0,2
Tube fluorescent	14 à 80	1 100 à 6 150	64 à 104	60 à 90	2 700 à 6 500	8 000 à 16 000	14 000 à 18 000	0,4 à 0,075
Fluo-compacte	5 à 55	200 à 4 800	39 à 87	80	2700 à 4 000	10 000	8 000 à 13 000	7,5 à 0,2
Halogénures métalliques	35 à 2 000	3 400 à 189 000	68 à 96	65 à 85	3 000 à 4 600	6 000 à 10 000	10 000 à 18 000	2,2 à 0,1
Sodium haute pression	35 à 1 000	1 300 à 130 000	37 à 130	25 (85)	2 000 à 2 500	12 000 à 16 000	25 000	4,425 à 0,1
Mercure haute pression	50 à 1 000	1 770 à 58 500	35 à 58	33 à 49	3 900 à 4 300	9 000	8 000 à 12 000	0,325 à 0,1
Induction	55 - 85	3 500, 6 000	65 - 70	80 - 85	2 700 à 4 000	30 000 à 40 000	60 000	50 à 30
Sodium basse pression	35 à 180	4 550 à 32 500	130 à 180	-	1 800	10 000	18 000	0,625 à 0,2



Source : Laborelec.

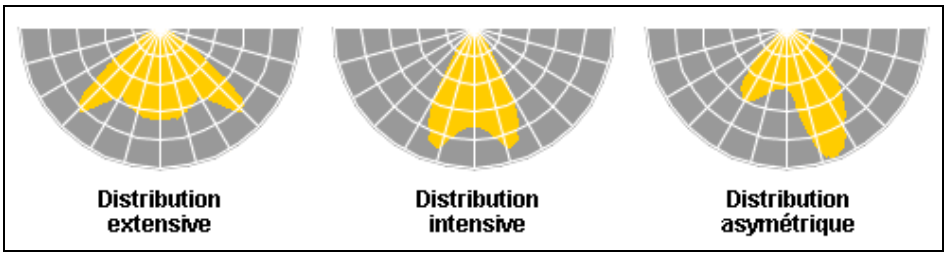
4.1.3.3. Les luminaires

Un luminaire sert à répartir, filtrer ou transformer la lumière des lampes. Il sera caractérisé par :

- **Le taux d'éblouissement** (caractérisé par le facteur UGR) : Les facteurs suivants jouent un rôle important dans la détermination de cette grandeur :
  - la forme et les dimensions du local
  - la clarté de la surface (luminance) des parois, des plafonds, des sols et des autres surfaces étendues
  - le type de luminaire et de protection
  - la luminance de la lampe
  - la répartition des luminaires dans le local
  - la ou les positions de l'observateur
- **L'angle de défilement** d'un luminaire est l'angle sous lequel la source nue ne peut être vue par l'observateur. Il s'exprime en degrés.

  On parle d'angle de défilement dans la direction transversale et dans la direction longitudinale.
- **La distribution lumineuse** d'un luminaire **:** La forme du réflecteur et les positions de la lampe permettent d'obtenir différents modèles de distributions lumineuses :
  - **distribution extensive :** donne un éclairement uniforme, permet un espacement plus important des luminaires et accentue les contrastes au niveau du plan de travail
  - **distribution intensive :** concentre le faisceau lumineux vers le bas. Ce mode d'éclairage est intéressant pour l'éclairage des travées de grande hauteur ou pour le travail sur écran

- **distribution asymétrique :** permet d'éclairer, par exemple, des surfaces verticales telles que des tableaux ou des murs.



- **La luminance moyenne (en cd/m²)** d'un luminaire représente sa brillance et quantifie les risques d'éblouissement. Elle est définie en fonction de l'angle de vision du luminaire par rapport à la verticale (angle d'élévation).
- **Rendement d'un luminaire intérieur :** Aucun luminaire ne restitue 100 % de la lumière émise par les lampes. Une part importante de cette lumière va être absorbée par les différents éléments du luminaire et transformée en chaleur.

Le **rendement total η_t d'un luminaire** est le rapport entre le flux lumineux émis par le luminaire et le flux lumineux des lampes.

Il se situe entre 35 et 90 %. Il est d'autant plus bas qu'il y a des éléments (ventelles, globe opalin ou prismatique) devant les lampes afin d'éviter l'éblouissement ou pour favoriser l'esthétique.

Exemple : dans une gamme d'un fabricant de luminaire :

	Luminaire avec simple réflecteur en aluminium martelé : $\eta_t = 0{,}84$
	Luminaire à diffuseur opalin : $\eta_t = 0{,}52$
	Luminaire basse luminance avec réflecteur : $\eta_t = 0{,}69$

Attention, le rendement total d'un luminaire ne focalisant pas la lumière vers le bas, c'est-à-dire vers le plan de travail (luminaire à diffuseur opalin, lumière douce, ...), n'est pas exactement représentatif du rendement utile du luminaire. En effet une partie de la

lumière est diffusée vers les murs ou les plafonds. Il en résulte une perte supplémentaire (qui dépend du facteur de réflexion des parois) non considérée dans la notion de rendement total. Pour comparer ce type de luminaire avec les luminaires purement directs, la notion de rendement inférieur η i (quantifiant le flux lumineux dirigé vers le bas) peut donc également être une indication de l'efficacité du luminaire.

4.2. Paramètres mesurés.

En pratique, les mesures de luminance étant difficiles et coûteuses et dans un but de simplification, les recommandations relatives à ces luminances sont formulées directement en valeur d'ÉCLAIREMENT (lux).

Les niveaux d'éclairement se mesurent grâce à un **luxmètre**.

Sur cette base, un niveau d'éclairement insuffisant entraîne progressivement une diminution du pouvoir de perception. Cela peut occasionner un plus grand pourcentage d'erreurs dans les manipulations et un risque accru d'accidents.

Les valeurs d'éclairement recommandées sont fonction du type d'activité ou de local.

Calcul de l'éclairement moyen intérieur

Pour déterminer le niveau d'éclairement moyen d'un local à l'aide d'un luxmètre, il faut effectuer diverses mesures d'éclairement ponctuel selon la méthodologie définie et en établir une moyenne arithmétique.

1. La surface du local est divisée en un certain nombre de rectangles élémentaires de dimensions égales. Ce nombre est fonction des dimensions du local considéré prises en considération par l'indice K.

$$\text{Indice du local } K = (a \times b) / h\,(a + b)$$

Avec : a et b = largeur et longueur du local,
h = hauteur utile de l'installation.

K	Nbre minimum de points de mesure
Moins de 1	4
1 .. 1,9	9
2 .. 2,9	16
3 et plus	25

2. Les éclairements ponctuels sont mesurés au centre de chaque rectangle.
3. L'éclairement moyen sur l'ensemble de la surface considérée est la moyenne arithmétique des valeurs mesurées.

$$E_{moy} = (E1 + E2 + ... + En) / n$$

Niveaux d'éclairement recommandés

- **Écoles maternelles et garderies**

Type d'intérieur, tâche ou activité	Em (lux)	UGR	Ra	Plan de travail
Salle de jeux	300	19	80	0.1 m au-dessus du sol.
Crèches	300	19	80	0.5 m au dessus du sol par défaut.
Salles de travaux manuels	300	19	80	0.5 m au dessus du sol par défaut.

- **Bâtiments scolaires**

Type d'intérieur, tâche ou activité	Em (lux)	UGR	Ra	Plan de référence
Salle de classe en primaire et secondaire	300	22	80	0.85 m du sol par défaut.
Salle de conférence	500	19	80	
Tableau noir	500	19	80	Le plan vertical du tableau.
Table de démonstration	500	19	80	0.85 m du sol par défaut.
Salle de dessin industriel	750	16	80	
Salle de travaux pratiques et laboratoire	500	19	80	
Laboratoire de langues	300	19	80	
Hall d'entrée	200	22	80	0.1 m du sol.
Zones de circulation et couloirs	100	25	80	
Escaliers	150	25	80	
Salle commune pour étudiants et salle de réunion	200	22	80	0.85 m du sol par défaut.
Salles des professeurs	300	19	80	
Bibliothèque : rayonnages	200	19	80	plans verticaux des rayonnages.
Bibliothèque : salle de lecture	500	19	80	0.85 m du sol par défaut.
Hall de sport, gymnases et piscines	300	22	80	0.1 m du sol.
Cantine scolaire	200	22	80	0.85 m du sol par défaut.
Cuisine	500	22	80	

4.3. Mode d'utilisation d'un luxmètre

Applications :

Le luxmètre Testo 540 permet de mesurer l'intensité lumineuse.

Prise en main

Insérer les piles :

1 Ouvrez le compartiment pile : faites glisser le couvercle vers le bas.
2 Insérez les piles (2 piles 1,5 V type AAA). Attention à la polarité !
3 Fermez le compartiment pile : faites glisser le couvercle vers le haut.

Paramétrage (mode configuration) :

Fonctions paramétrables
Fonction Auto Off : **OFF** (désactivée), **ON** (activée, l'appareil s'éteint automatiquement 10 min après le dernier actionnement de touche)

5 Lors de l'allumage de l'appareil, maintenez la touche ⏻ enfoncée jusqu'à ce que ▲ et ↵ s'affichent (mode configuration).

La fonction paramétrable est affichée. Le paramètre actuel clignote.

6 Appuyez plusieurs fois sur ▲ jusqu'à ce que le paramètre désiré clignote.

7 Appuyez sur Mode (↵) pour confirmer la saisie.

- L'appareil passe en mode mesure.

Utilisation du produit

Pour garantir des valeurs de mesure correctes : tenez l'appareil à l'horizontale, de manière à ce que le capteur de lumière soit orienté vers le haut.

- **Allumer l'appareil :**

Appuyez brièvement sur ⏻.
→ Le mode mesure s'ouvre.

- **Allumer l'éclairage de l'écran**

L'appareil est allumé.
Appuyez sur ⏻.
→ L'éclairage de l'écran s'éteint automatiquement 10 s après le dernier actionnement de touche.

- **Changer la grandeur à mesurer :**

Appuyez sur ▲ jusqu'à ce que l'unité désirée s'affiche.

Unités paramétrables
- **lux**
- **ftc**

- **Changer l'affichage de l'écran :**

Affichages paramétrables
- Valeur actuelle
- **Hold :** Les valeurs sont conservées
- **Max :** Valeurs maximales depuis la dernière mise en marche de l'appareil ou depuis la dernière mise à jour.
- **Min :** Valeurs minimales depuis la dernière mise en marche de l'appareil ou depuis la dernière mise à jour.

Appuyez plusieurs fois sur Mode jusqu'à ce que l'affichage désiré s'affiche.

- **Mise à jour des valeurs maximales et minimales :**

4 Appuyez plusieurs fois sur Mode jusqu'à ce que l'affichage désiré apparaisse.
5 Maintenez la touche Mode enfoncée jusqu'à ce que ---- s'affiche.
6 Répétez les étapes 1 et 2 pour toutes les valeurs que vous désirez mettre à jour.

- **Éteindre l'appareil :**

Maintenez la touche ⏻ enfoncée jusqu'à ce que l'affichage s'éteigne.

Entretien du produit

- **Changer les piles :**

4 Ouvrez le compartiment pile : faites glisser le couvercle vers le bas.
5 Retirez les piles vides et insérez-en des nouvelles (2 piles 1,5 V type AAA). Attention à la polarité !
6 Fermez le compartiment pile : faites glisser le couvercle vers le haut.

- **Nettoyer le boîtier :**

En cas de salissure, nettoyez le boîtier avec un linge humide (eau savonneuse). N'utilisez pas de solvants ni de produits de nettoyage forts !